



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE MECÁNICA**  
**CARRERA MECÁNICA**

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PULVERIZADOR DE  
PRODUCTOS DESHIDRATADOS, CON CAPACIDAD DE 30 kg/h  
PARA UN SISTEMA DE PRODUCCIÓN AGROINDUSTRIAL**

**Trabajo de Integración Curricular**

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO MECÁNICO**

**AUTORES:**

**MAURO SEBASTIÁN SALAZAR RAMÍREZ**

**RONALD ARIEL VARELA SECAIRA**

Riobamba – Ecuador

2023



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE MECÁNICA**  
**CARRERA MECÁNICA**

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PULVERIZADOR DE  
PRODUCTOS DESHIDRATADOS, CON CAPACIDAD DE 30 kg/h  
PARA UN SISTEMA DE PRODUCCIÓN AGROINDUSTRIAL**

**Trabajo de Integración Curricular**

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO MECÁNICO**

**AUTORES: MAURO SEBASTIÁN SALAZAR RAMÍREZ**

**RONALD ARIEL VARELA SECAIRA**

**DIRECTOR: Ing. DIEGO FERNANDO MAYORGA PEREZ**

Riobamba – Ecuador

2023

© 2023, Mauro Sebastián Salazar Ramírez; y Ronald Ariel Varela Secaira

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

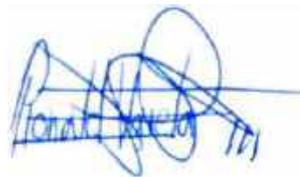
Nosotros, MAURO SEBASTIÁN SALAZAR RAMÍREZ y RONALD ARIEL VARELA SECAIRA, declaramos que el presente Trabajo de Integración Curricular es de nuestra autoría y los resultados de este son auténticos. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autores asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 21 de junio del 2023



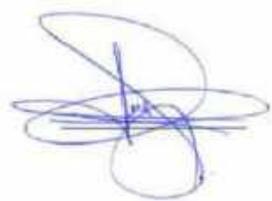
**Mauro Sebastián Salazar Ramírez**  
**020238300-6**



**Ronald Ariel Varela Secaira**  
**060457691-8**

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE MECÁNICA**  
**CARRERA MECÁNICA**

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; Tipo: Proyecto Técnico, **DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MOLINO PULVERIZADOR DE PRODUCTOS DESHIDRATADOS, CON CAPACIDAD DE 30 kg/h PARA UN SISTEMA DE PRODUCCIÓN AGROINDUSTRIAL**, realizado por el señor **MAURO SEBASTIÁN SALAZAR RAMÍREZ** y el señor **RONALD ARIEL VARELA SECAIRA**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

|   | FIRMA  | FECHA      |
|---|--|------------|
| Ing. MSc. Edwin Fernando Viteri Nuñez<br><b>PRESIDENTE DEL TRIBUNAL</b>                         |  | 2023-06-21 |
| Ing. MSc. Diego Fernando Mayorga Pérez<br><b>DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR</b> |  | 2023-06-21 |
| Ing. MSc. Javier Enrique Orna Chávez<br><b>ASESOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR</b>     |  | 2023-06-21 |

## **DEDICATORIA**

A mi familia, Erika y Marianita quienes son mi motivación para seguir adelante.

*Sebastián*

Dedico este trabajo a todas las personas que me han ayudado a lograr este sueño, a mi familia, por ser el aporte de amor y responsabilidad necesario para alcanzar este logro, y agradezco en sobremanera, a mi abuelita Dorinda, por ser el pilar que me ha mantenido centrado durante toda esta gloriosa etapa.

*Ariel*

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios por permitirme culminar una más de mis metas. A mi familia por su incondicional apoyo en cada etapa de mi vida. A los docentes de la Facultad de Mecánica por las experiencias y conocimientos que me formaron.

*Sebastián*

Agradezco a Dios por permitirme culminar otra etapa más de mi vida, con salud, responsabilidad y gratos recuerdos, a todos los que conforman a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, por todos los saberes otorgados a lo largo de estos años, a mis amigos y profesores, por hacer de este recorrido, un espacio mucho más ameno, serán siempre una fuente de inspiración.

*Ariel*

## ÍNDICE DE CONTENIDO

|                              |       |
|------------------------------|-------|
| ÍNDICE DE TABLAS.....        | xiii  |
| ÍNDICE DE ILUSTRACIONES..... | xv    |
| ÍNDICE DE ANEXOS.....        | xviii |
| RESUMEN.....                 | xix   |
| SUMMARY.....                 | xx    |
| INTRODUCCIÓN.....            | 1     |

### CAPÍTULO I

|  |          |
|--|----------|
| <b>1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA.....</b>    | <b>2</b> |
| 1.1. Antecedentes.....                     | 2        |
| 1.2. Delimitación.....                     | 3        |
| 1.2.1. <i>Delimitación espacial</i> .....  | 3        |
| 1.2.2. <i>Delimitación sectorial</i> ..... | 3        |
| 1.3. Formulación del problema.....         | 3        |
| 1.4. Objetivos.....                        | 4        |
| 1.4.1. <i>Objetivo general</i> .....       | 4        |
| 1.4.2. <i>Objetivos específicos</i> .....  | 4        |

### CAPÍTULO II

|  |          |
|--|----------|
| <b>2. REVISIÓN DE LITERATURA Y FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....</b> | <b>5</b> |
| 2.1. Polvo de productos deshidratados.....                   | 5        |
| 2.1.1. <i>Tamaño de la Partícula</i> .....                   | 5        |
| 2.1.1.1. <i>Trituración</i> .....                            | 6        |
| 2.1.1.2. <i>Molienda</i> .....                               | 6        |
| 2.1.2. <i>Porcentaje de Humedad</i> .....                    | 6        |
| 2.1.3. <i>Cantidad de azúcar</i> .....                       | 8        |
| 2.1.4. <i>Aspecto Visual</i> .....                           | 8        |
| 2.2. Molino pulverizador.....                                | 10       |
| 2.2.1. <i>Molino pulverizador de rodillos gruesos</i> .....  | 11       |

|          |   |    |
|----------|---|----|
| 2.2.2.   | <i>Molino pulverizador de martillos</i> .....                             | 11 |
| 2.2.3.   | <i>Molino de pulverizador de discos</i> .....                             | 12 |
| 2.2.4.   | <i>Molino de pulverizador de bolas</i> .....                              | 13 |
| 2.3.     | <b>Parámetros de diseño y requisitos de operación</b> .....               | 14 |
| 2.3.1.   | <b>Capacidad de producción</b> .....                                      | 14 |
| 2.3.1.1. | <i>Dureza de la materia prima</i> .....                                   | 15 |
| 2.3.1.2. | <i>Composición de la materia prima</i> .....                              | 15 |
| 2.3.1.3. | <i>Tamaño de la partícula del producto final</i> .....                    | 15 |
| 2.3.1.4. | <i>Viscosidad y humedad de la materia prima</i> .....                     | 16 |
| 2.3.2.   | <b>Pérdida del molino</b> .....   | 16 |
| 2.3.3.   | <b>Potencia del molino</b> .....  | 17 |
| 2.3.4.   | <b>Densidad de la materia prima</b> .....                                 | 18 |
| 2.3.5.   | <b>Potencia teórica</b> .....   | 18 |
| 2.3.6.   | <b>Potencia requerida para el diseño</b> .....                            | 19 |
| 2.3.7.   | <b>Ruido</b> .....  | 19 |
| 2.4.     | <b>Aceros Inoxidables</b> .....   | 20 |
| 2.4.1.   | <b>Clasificación de los aceros inoxidables</b> .....                      | 20 |
| 2.4.1.1. | <i>Aceros Inoxidables Martensíticos</i> .....                             | 20 |
| 2.4.1.2. | <i>Aceros Inoxidables Ferríticos</i> .....                                | 20 |
| 2.4.1.3. | <i>Aceros Inoxidables Austeníticos</i> .....                              | 21 |
| 2.4.2.   | <b>Procesos de Soldadura en Aceros Inoxidables</b> .....                  | 21 |
| 2.4.2.1. | <i>Código de Soldadura Estructural en Acero Inoxidable AWS D1.6</i> ..... | 22 |
| 2.4.2.2. | <i>Especificación de Juntas de Soldadura</i> .....                        | 22 |
| 2.4.2.3. | <i>Proceso de Soldadura SMAW</i> .....                                    | 23 |

### CAPÍTULO III

|        |   |    |
|--------|---|----|
| 3.     | <b>MARCO METODOLÓGICO</b> .....         | 24 |
| 3.1.   | <b>Metodología del diseño</b> .....     | 24 |
| 3.2.   | <b>Definición del producto</b> .....    | 24 |
| 3.2.1. | <b>Requerimientos del Cliente</b> ..... | 24 |
| 3.2.2. | <b>Voz del usuario</b> .....            | 25 |

|               |   |    |
|---------------|---|----|
| 3.2.3.        | <i>Análisis de Competencias</i> .....   | 26 |
| 3.2.3.1.      | <i>Xinxiang Chenwei Machinery</i> .....   | 27 |
| 3.2.3.2.      | <i>Interinox</i> .....  | 27 |
| 3.2.3.3.      | <i>Evaluación de análisis de competencias</i> .....                                 | 28 |
| <b>3.2.4.</b> | <b><i>Voz del ingeniero</i></b> .....   | 29 |
| <b>3.2.5.</b> | <b><i>Desarrollo de la casa de la calidad</i></b> .....                             | 30 |
| 3.2.5.1.      | <i>Definición de las necesidades del cliente</i> .....                              | 30 |
| 3.2.5.2.      | <i>Índice de mejora</i> .....   | 31 |
| 3.2.5.3.      | <i>Requerimientos técnicos</i> .....  | 33 |
| 3.2.5.4.      | <i>Correlaciones</i> .....  | 33 |
| 3.2.5.5.      | <i>Evaluación Técnica</i> .....   | 34 |
| 3.2.5.6.      | <i>Compromisos técnicos</i> .....   | 35 |
| 3.2.5.8.      | <i>Especificaciones técnicas</i> .....  | 39 |
| <b>3.3.</b>   | <b><i>Diseño Conceptual</i></b> .....   | 42 |
| <b>3.3.1.</b> | <b><i>Análisis funcional</i></b> .....  | 42 |
| 3.3.1.1.      | <i>Estructura funcional nivel 0</i> .....   | 42 |
| 3.3.1.2.      | <i>Estructura funcional nivel 1</i> .....   | 43 |
| 3.3.1.3.      | <i>Estructura funcional nivel 2</i> .....   | 43 |
| <b>3.3.2.</b> | <b><i>Análisis modular</i></b> .....  | 44 |
| 3.3.2.1.      | <i>Estructura funcional de identificación</i> .....                                 | 45 |
| 3.3.2.2.      | <i>Estructura funcional módulo 1 (Módulo estructural)</i> .....                     | 45 |
| 3.3.2.3.      | <i>Estructura funcional módulo 2 (Módulo funcional)</i> .....                       | 47 |
| <b>3.3.3.</b> | <b><i>Matriz morfológica</i></b> .....  | 48 |
| 3.3.3.1.      | <i>Estructura funcional módulo 1 (Módulo estructural)</i> .....                     | 48 |
| 3.3.3.2.      | <i>Estructura funcional módulo 2 (Módulo estructural)</i> .....                     | 49 |
| <b>3.3.4.</b> | <b><i>Generación de alternativas</i></b> .....                                      | 50 |
| 3.3.4.1.      | <i>Alternativa 1</i> .....  | 50 |
| 3.3.4.2.      | <i>Alternativa 2</i> .....  | 50 |
| 3.3.4.3.      | <i>Alternativa 3</i> .....  | 51 |
| 3.3.4.4.      | <i>Alternativa 4</i> .....  | 51 |
| 3.3.4.5.      | <i>Alternativa 5</i> .....  | 51 |
| <b>3.3.5.</b> | <b><i>Evaluación de alternativas de solución por criterios ponderados</i></b> ..... | 52 |

|             |  |     |
|-------------|--|-----|
| 3.3.5.1.    | <i>Matrices de evaluación de criterios</i>                         | 52  |
| <b>3.4.</b> | <b>Diseño de Materialización</b>                                   | 55  |
| 3.4.1.      | <i>Desarrollo del modelo 3D (CAD)</i>                              | 55  |
| <b>3.5.</b> | <b>Diseño de Detalle</b>   | 55  |
| 3.5.1.      | <i>Teoría de reducción de tamaño en alimentos sólidos</i>          | 55  |
| 3.5.2.      | <i>Energía requerida en la reducción de tamaño</i>                 | 57  |
| 3.5.2.1.    | <i>Ley de Kick</i>   | 57  |
| 3.5.2.2.    | <i>Ley de Rittinger</i>  | 57  |
| 3.5.2.3.    | <i>Ley de Bond</i>   | 58  |
| 3.5.2.4.    | <i>Cálculo de la energía requerida para la reducción de tamaño</i> | 58  |
| 3.5.3.      | <i>Cálculo de la fuerza de corte</i>                               | 60  |
| 3.5.4.      | <i>Selección del motor eléctrico</i>                               | 61  |
| 3.5.4.1.    | <i>Conexiones eléctricas del motor</i>                             | 63  |
| 3.5.5.      | <i>Diseño del percutor</i>   | 63  |
| 3.5.5.1.    | <i>Diseño a flexión por impacto a carga estática</i>               | 64  |
| 3.5.5.1.    | <i>Diseño a Cizalla por impacto a carga estática</i>               | 68  |
| 3.5.6.      | <i>Diseño de placas de impacto</i>                                 | 69  |
| 3.5.7.      | <i>Cálculo de poleas y Correas</i>                                 | 71  |
| 3.5.7.1     | <i>Correas</i>   | 71  |
| 3.5.8.      | <i>Diseño del Árbol de transmisión</i>                             | 77  |
| 3.5.8.1.    | <i>Diseño por resistencia mecánica</i>                             | 85  |
| 3.5.8.2.    | <i>Análisis de rigidez</i>   | 87  |
| 3.5.8.1.    | <i>Análisis de resonancia</i>                                      | 89  |
| 3.5.9.      | <i>Selección de rodamientos</i>                                    | 91  |
| 3.5.10.     | <i>Dimensionamiento de la chaveta</i>                              | 95  |
| 3.5.11.     | <i>Cálculo de la altura de alimentación</i>                        | 98  |
| 3.5.12.     | <i>Diseño de la tolva de alimentación</i>                          | 99  |
| 3.5.13.     | <i>Selección de pernos</i>   | 104 |
| 3.5.13.1    | <i>Selección de pernos de sujeción de las cuchillas</i>            | 104 |
| 3.5.13.2    | <i>Selección de pernos del motor</i>                               | 107 |
| 3.5.14.     | <i>Dimensionamiento de la tolva de salida</i>                      | 109 |
| 3.5.15.     | <i>Diseño estructural del bastidor</i>                             | 109 |

|          |   |     |
|----------|---|-----|
| 3.5.15.1 | <i>Cálculo a carga viva</i> .....                       | 111 |
| 3.5.15.2 | <i>Cálculo a carga muerta</i> .....                     | 112 |
| 3.5.15.3 | <i>Definición de patrones de carga en Sap2000</i> ..... | 113 |
| 3.5.15.4 | <i>Combinaciones de carga</i> .....                     | 113 |

## CAPÍTULO IV

|               |   |     |
|---------------|---|-----|
| <b>4.</b>     | <b>RESULTADOS</b> .....                                     | 118 |
| <b>4.1.</b>   | <b>Validación del diseño mediante software (CAE)</b> .....  | 118 |
| <b>4.1.1.</b> | <b>Árbol de transmisión</b> .....                           | 119 |
| 4.1.1.1.      | <i>Geometría Eje</i> .....                                  | 119 |
| 4.1.1.2.      | <i>Malla Eje</i> .....                                      | 120 |
| 4.1.1.3.      | <i>Condiciones de Frontera Eje</i> .....                    | 122 |
| 4.1.1.4.      | <i>Resultado Cae Eje</i> .....                              | 122 |
| <b>4.1.2.</b> | <b>Cámara de Pulverización</b> .....                        | 124 |
| 4.1.2.1.      | <i>Geometría Cámara</i> .....                               | 124 |
| 4.1.2.2.      | <i>Malla Cámara</i> .....                                   | 125 |
| 4.1.2.3.      | <i>Condiciones de Frontera Cámara</i> .....                 | 126 |
| 4.1.2.4.      | <i>Resultado Cae Cámara</i> .....                           | 127 |
| <b>4.1.3.</b> | <b>Tolva de Alimentación</b> .....                          | 129 |
| 4.1.3.1.      | <i>Geometría Tolva</i> .....                                | 129 |
| 4.1.3.2.      | <i>Malla Tolva</i> .....                                    | 129 |
| 4.1.3.3.      | <i>Condiciones de Frontera Tolva</i> .....                  | 131 |
| 4.1.3.4.      | <i>Resultado Cae Tolva</i> .....                            | 131 |
| <b>4.1.4.</b> | <b>Turbina</b> .....  | 133 |
| 4.1.4.1.      | <i>Geometría Turbina</i> .....                              | 133 |
| 4.1.4.2.      | <i>Malla Turbina</i> .....                                  | 134 |
| 4.1.4.3.      | <i>Condiciones de Frontera Turbina</i> .....                | 136 |
| 4.1.4.4.      | <i>Resultado Cae Turbina</i> .....                          | 136 |
| <b>4.2</b>    | <b>Construcción y montaje del molino pulverizador</b> ..... | 138 |
| <b>4.2.1.</b> | <b>Proceso de Rolado</b> .....                              | 139 |
| <b>4.2.2.</b> | <b>Proceso de Torneado</b> .....                            | 139 |

|          |  |     |
|----------|--|-----|
| 4.2.3.   | <b>Proceso de Soldadura</b>                      | 140 |
| 4.3      | <b>Protocolo de pruebas</b>                      | 141 |
| 4.3.1    | <b>Necesidad y objetivos de evaluación</b>       | 142 |
| 4.3.1.1. | <i>Objetivo principal de evaluación</i>          | 142 |
| 4.3.1.2. | <i>Primera etapa: Arranque</i>                   | 142 |
| 4.3.1.3. | <i>Segunda etapa: Movimiento sin carga</i>       | 143 |
| 4.3.1.4. | <i>Tercera etapa: Movimiento con carga media</i> | 143 |
| 4.3.1.5. | <i>Cuarta etapa: Movimiento con carga máxima</i> | 143 |
| 4.3.2.   | <b>Características que requieren evaluarse</b>   | 143 |
| 4.3.2.1. | <i>Evaluación de la estructura de soporte</i>    | 143 |
| 4.3.2.   | <b>Elaboración del protocolo de pruebas</b>      | 144 |
| 4.3.2.   | <b>Validación del protocolo de pruebas</b>       | 145 |
| 4.3.2.1. | <i>Resultados del protocolo de pruebas</i>       | 145 |
| 4.4.     | <b>Análisis de costos</b>                        | 146 |
| 4.4.1.   | <b>Costos directos</b>                           | 147 |
| 4.4.1.1. | <i>Costo de manufactura</i>                      | 147 |
| 4.4.1.2. | <i>Costo de mano de obra</i>                     | 147 |
| 4.4.1.3. | <i>Costo de materiales</i>                       | 148 |
| 4.4.1.4. | <i>Costo directo total</i>                       | 148 |
| 4.4.2.   | <b>Costos indirectos</b>                         | 150 |
| 4.4.2.1. | <i>Costo de ingeniería</i>                       | 150 |
| 4.4.2.2. | <i>Costo indirecto total</i>                     | 150 |
| 4.4.3.   | <b>Costo total del molino pulverizador</b>       | 151 |
| 4.5.     | <b>Manual de seguridad</b>                       | 151 |
| 4.6.     | <b>Plan de Mantenimiento</b>                     | 153 |
| 4.6.1.   | <b>Hoja de Datos técnicos</b>                    | 153 |
| 4.6.2.   | <b>Función del personal operativo</b>            | 154 |
| 4.6.3.   | <b>Mantenimiento preventivo</b>                  | 155 |
|          | <b>CONCLUSIONES</b>                              | 157 |
|          | <b>RECOMENDACIONES</b>                           | 158 |
|          | <b>BIBLIOGRAFÍA</b>                              |     |
|          | <b>ANEXOS</b>                                    |     |

## ÍNDICE DE TABLAS

|                    |  |     |
|--------------------|--|-----|
| <b>Tabla 1-2:</b>  | Porcentaje de humedad de los principales productos deshidratados.....              | 25  |
| <b>Tabla 2-2:</b>  | Calorías porcentuales de frutas deshidratadas .....                                | 27  |
| <b>Tabla 3-2:</b>  | Estándares de Color Munsell del departamento de agricultura de Estados Unidos..... | 28  |
| <b>Tabla 4-2:</b>  | Intervalo de reducción de tamaño en molinos pulverizadores .....                   | 29  |
| <b>Tabla 1-3:</b>  | Resultados obtenidos de la encuesta preliminar de mercado .....                    | 44  |
| <b>Tabla 2-3:</b>  | Parámetros más importantes para el requerimiento técnico.....                      | 45  |
| <b>Tabla 3-3:</b>  | Comparación de Características de los competidores.....                            | 47  |
| <b>Tabla 4-3:</b>  | Resultados del análisis de competencias.....                                       | 47  |
| <b>Tabla 5-3:</b>  | Especificaciones técnicas del producto.....  | 49  |
| <b>Tabla 6-3:</b>  | Necesidades del usuario.....   | 49  |
| <b>Tabla 7-3:</b>  | Factor de venta.....   | 50  |
| <b>Tabla 8-3:</b>  | Importancia de las necesidades del cliente .....                                   | 51  |
| <b>Tabla 9-3:</b>  | Requerimientos técnicos del producto .....   | 52  |
| <b>Tabla 10-3:</b> | Correlación entre los parámetros .....   | 53  |
| <b>Tabla 11-3:</b> | Resultados para cada especificación técnica.....                                   | 53  |
| <b>Tabla 12-3:</b> | Relación de dependencia entre los parámetros.....                                  | 54  |
| <b>Tabla 13-3:</b> | Casa de la calidad .....   | 56  |
| <b>Tabla 14-3:</b> | Peso máximo.....   | 59  |
| <b>Tabla 15-3:</b> | Niveles del módulo funcional .....   | 66  |
| <b>Tabla 16-3:</b> | Niveles del módulo estructural .....   | 67  |
| <b>Tabla 17-3:</b> | Módulo 2 del módulo estructural.....   | 68  |
| <b>Tabla 18-3:</b> | Alternativas de diseño.....  | 69  |
| <b>Tabla 19-3:</b> | Matriz de evaluación de criterios.....   | 71  |
| <b>Tabla 20-3:</b> | Matriz de evaluación del criterio eficiencia.....                                  | 71  |
| <b>Tabla 21-3:</b> | Matriz de evaluación del criterio costo .....                                      | 72  |
| <b>Tabla 22-3:</b> | Matriz de evaluación del criterio mantenimiento .....                              | 72  |
| <b>Tabla 23-3:</b> | Matriz de evaluación del criterio operabilidad .....                               | 73  |
| <b>Tabla 24-3:</b> | Matriz de evaluación del criterio vida útil .....                                  | 73  |
| <b>Tabla 25-3:</b> | Matriz de prioridad de criterio .....  | 74  |
| <b>Tabla 26-3:</b> | Constantes de reducción de tamaño.....   | 77  |
| <b>Tabla 27-3:</b> | Datos experimentales.....  | 79  |
| <b>Tabla 28-3:</b> | Características del motor .....  | 81  |
| <b>Tabla 29-3:</b> | Datos experimentales.....  | 90  |
| <b>Tabla 30-3:</b> | Reacciones de los apoyos .....   | 101 |

|  |     |
|--|-----|
| <b>Tabla 31-3:</b> Características del material .....  | 101 |
| <b>Tabla 32-3:</b> Resultados de momentos .....  | 102 |
| <b>Tabla 33-3:</b> Deflexiones máximas permisibles .....                                       | 105 |
| <b>Tabla 34-3:</b> Deformaciones en el árbol de transmisión.....                               | 106 |
| <b>Tabla 35-3:</b> Obtención del valor del espesor e .....                                     | 112 |
| <b>Tabla 36-3:</b> Obtención del valor del factor Y.....                                       | 112 |
| <b>Tabla 37-3:</b> Características mecánicas de los pernos A2 clase 50 .....                   | 122 |
| <b>Tabla 38-3:</b> Peso de los elementos del árbol de transmisión.....                         | 129 |
| <b>Tabla 39-3:</b> Resultados de la carga de servicio para el análisis estructural.....        | 132 |
| <b>Tabla 1-4:</b> Métricas de Malla de la Geometría del Eje.....                               | 138 |
| <b>Tabla 2-4:</b> Métricas de Malla de la Geometría de la Cámara.....                          | 142 |
| <b>Tabla 3-4:</b> Métricas de Malla de la Geometría de la Tolva .....                          | 147 |
| <b>Tabla 4-4:</b> Métricas de Malla de la Geometría de la Turbina.....                         | 152 |
| <b>Tabla 5-4:</b> Prioridad de los criterios de evaluación de la estructura de soporte .....   | 161 |
| <b>Tabla 6-4:</b> Prioridad de los criterios de evaluación de la cámara de molienda .....      | 161 |
| <b>Tabla 7-4:</b> Resultados obtenidos del protocolo de pruebas en el sistema estructural..... | 162 |
| <b>Tabla 8-4:</b> Resultados obtenidos del protocolo de pruebas en la turbina de molienda...   | 162 |
| <b>Tabla 9-4:</b> Costos de manufactura.....   | 164 |
| <b>Tabla 10-4:</b> Costos de mano de obra .....  | 164 |
| <b>Tabla 11-4:</b> Costo de materiales de construcción.....                                    | 165 |
| <b>Tabla 12-4:</b> Costos directos totales .....   | 166 |
| <b>Tabla 13-4:</b> Costos indirectos totales .....   | 167 |
| <b>Tabla 14-4:</b> Costo total acumulado del molino pulverizador .....                         | 167 |
| <b>Tabla 15-4:</b> Consideraciones para el funcionamiento de un molino pulverizador .....      | 168 |
| <b>Tabla 16-4:</b> Hoja de Datos Técnicos del molino pulverizador.....                         | 170 |
| <b>Tabla 17-4:</b> Operaciones a cargo de cada personal operativo .....                        | 171 |
| <b>Tabla 18-4:</b> Plan de mantenimiento del molino pulverizador .....                         | 172 |

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

|                          |   |    |
|--------------------------|---|----|
| <b>Ilustración 1-2:</b>  | Diagrama de flujo de proceso de producción agroindustrial .....                           | 24 |
| <b>Ilustración 2-2:</b>  | Molino pulverizador de rodillos gruesos .....   | 30 |
| <b>Ilustración 3-2:</b>  | Molino pulverizador de martillos .....  | 31 |
| <b>Ilustración 4-2:</b>  | Molino pulverizador de discos.....  | 32 |
| <b>Ilustración 5-2:</b>  | Molino pulverizador de bolas .....  | 32 |
| <b>Ilustración 6-2:</b>  | Capacidad de producción de un equipo pulverizador.....                                    | 33 |
| <b>Ilustración 7-2:</b>  | Equipos de pulverizado según el tamaño de partícula.....                                  | 34 |
| <b>Ilustración 8-2:</b>  | Relación entre contenido de humedad y mecanismos de reducción de tamaño de partícula..... | 35 |
| <b>Ilustración 9-2:</b>  | Código de Soldadura Estructural en Acero Inoxidable AWS D1.6.....                         | 40 |
| <b>Ilustración 10-2:</b> | Especificación de Proceso de Soldadura-Plano de Detalle de Juntas Soldadas.....           | 41 |
| <b>Ilustración 1-3:</b>  | Importancia de los requerimientos del diseño .....  | 45 |
| <b>Ilustración 2-3:</b>  | Operabilidad en equipos de molienda.....  | 58 |
| <b>Ilustración 3-3:</b>  | Tolva segura para molienda.....   | 58 |
| <b>Ilustración 4-3:</b>  | Tiempo límite de exposición a altas intensidades de sonido .....                          | 59 |
| <b>Ilustración 5-3:</b>  | Estructura funcional nivel 0.....   | 61 |
| <b>Ilustración 6-3:</b>  | Estructura funcional nivel 1 .....  | 62 |
| <b>Ilustración 7-3:</b>  | Estructura funcional nivel 2.....   | 63 |
| <b>Ilustración 8-3:</b>  | Identificación de módulos.....  | 64 |
| <b>Ilustración 9-3:</b>  | Esfuerzo vs deformación .....   | 75 |
| <b>Ilustración 10-3:</b> | Proceso de obtención de la fuerza de corte de manera experimental .....                   | 79 |
| <b>Ilustración 11-3:</b> | Análisis de fuerzas presentes en la tijera .....  | 80 |
| <b>Ilustración 12-3:</b> | Curva de Desempeño del Motor WEG W22 .....  | 81 |
| <b>Ilustración 13-3:</b> | Placa Martillo del Percutor del molino pulverizador.....                                  | 82 |
| <b>Ilustración 14-3:</b> | Dimensiones del percutor .....  | 84 |
| <b>Ilustración 15-3:</b> | Tensión de viga en voladizo .....   | 85 |
| <b>Ilustración 16-3:</b> | Disposición de las placas de impacto .....  | 89 |
| <b>Ilustración 17-3:</b> | Perfil de la banda .....  | 90 |
| <b>Ilustración 18-3:</b> | Factor de ángulo de carga.....  | 92 |
| <b>Ilustración 19-3:</b> | Factor de desarrollo .....  | 93 |
| <b>Ilustración 20-3:</b> | Potencia máxima de la banda .....   | 93 |
| <b>Ilustración 21-3:</b> | Sentido de giro del árbol de transmisión .....  | 95 |
| <b>Ilustración 22-3:</b> | Transmisión de energía del eje .....  | 95 |
| <b>Ilustración 23-3:</b> | Eje conducido y eje conductor.....  | 96 |

|  |     |
|--|-----|
| <b>Ilustración 24-3:</b> Distancia entre centros.....  | 97  |
| <b>Ilustración 25-3:</b> Angulo de contacto entre poleas .....   | 97  |
| <b>Ilustración 26-3:</b> Relación entre lado flojo y lado tenso equivalente al ángulo de contacto..... | 98  |
| <b>Ilustración 27-3:</b> Esquema simplificado de fuerza .....  | 99  |
| <b>Ilustración 28-3:</b> Turbina en el punto A .....   | 99  |
| <b>Ilustración 29-3:</b> Fuerzas actuantes en el punto C.....  | 100 |
| <b>Ilustración 30-3:</b> Fuerzas actuantes en el eje.....  | 100 |
| <b>Ilustración 31-3:</b> Análisis de fuerzas en el plano XY.....                                       | 100 |
| <b>Ilustración 32-3:</b> Dimensionamiento preliminar del árbol de transmisión.....                     | 103 |
| <b>Ilustración 33-3:</b> Giro debido al momento flector.....   | 104 |
| <b>Ilustración 34-3:</b> Giro debido al momento Torsor .....   | 104 |
| <b>Ilustración 35-3:</b> Rango de resonancia del árbol de transmisión.....                             | 109 |
| <b>Ilustración 36-3:</b> Geometría del rodamiento rígido de bolas.....                                 | 109 |
| <b>Ilustración 37-3:</b> Selección del rodamiento rígido de bolas .....                                | 111 |
| <b>Ilustración 38-3:</b> Carga radial del rodamiento.....  | 111 |
| <b>Ilustración 39-3:</b> Dimensiones de chavetas normalizadas bajo norma DIN 6885-1 .....              | 113 |
| <b>Ilustración 40-3:</b> Parámetros de la altura de alimentación .....                                 | 115 |
| <b>Ilustración 41-3:</b> Dimensiones de la tolva de alimentación .....                                 | 117 |
| <b>Ilustración 42-3:</b> Placa con bordes de apoyo simple .....  | 119 |
| <b>Ilustración 43-3:</b> Placa con bordes completamente empotrados .....                               | 120 |
| <b>Ilustración 44-3:</b> Especificaciones del fabricante para pernos tipo A2 CR.....                   | 121 |
| <b>Ilustración 45-3:</b> Disposición de pernos sometidos a corte.....                                  | 122 |
| <b>Ilustración 46-3:</b> Disposición de pernos sometidos a tracción .....                              | 123 |
| <b>Ilustración 47-3:</b> Disposición de pernos de sujeción del motor .....                             | 125 |
| <b>Ilustración 48-3:</b> Bastidor del Molino Pulverizador de Productos Deshidratados .....             | 126 |
| <b>Ilustración 49-3:</b> Perfiles empleados para el análisis estructural .....                         | 127 |
| <b>Ilustración 50-3:</b> Modelo estructural simplificado .....   | 127 |
| <b>Ilustración 51-3:</b> Perfil AL 50x3 .....  | 128 |
| <b>Ilustración 52-3:</b> Perfil U 80x30x4 .....  | 128 |
| <b>Ilustración 53-3:</b> Patrones de carga en SAP 2000 .....   | 130 |
| <b>Ilustración 54-3:</b> Combinación de carga en SAP 2000 .....  | 131 |
| <b>Ilustración 55-3:</b> Combinación de carga de servicio en SAP 2000 .....                            | 131 |
| <b>Ilustración 56-3:</b> Asignación de perfiles en SAP 2000 .....                                      | 132 |
| <b>Ilustración 57-3:</b> Asignación de fuerzas en SAP 2000.....  | 132 |
| <b>Ilustración 58-3:</b> Localización de las juntas analizadas en SAP 2000 .....                       | 133 |
| <b>Ilustración 59-3:</b> Deformación debida a la combinación de cargas en SAP 2000 .....               | 133 |

|  |     |
|--|-----|
| <b>Ilustración 60-3:</b> Razón demanda capacidad de la estructura en SAP 2000 .....  | 134 |
| <b>Ilustración 1-4:</b> Molino pulverizador de productos deshidratados .....   | 135 |
| <b>Ilustración 2-4:</b> Flujo de Trabajo ANSYS Módulo Estructural .....  | 136 |
| <b>Ilustración 3-4:</b> Geometría simplificada del Eje en SpaceClaim .....   | 136 |
| <b>Ilustración 4-4:</b> Mallado del eje en Mechanical ANSYS .....  | 137 |
| <b>Ilustración 5-4:</b> Métricas de Calidad de Malla del Eje .....   | 138 |
| <b>Ilustración 6-4:</b> Condiciones de frontera aplicadas en el Eje .....  | 139 |
| <b>Ilustración 7-4:</b> Resultado de Esfuerzo Equivalente en el eje .....  | 140 |
| <b>Ilustración 8-4:</b> Resultado de Deformación Total el en eje.....  | 140 |
| <b>Ilustración 9-4:</b> Resultado de análisis a fatiga en el eje .....   | 141 |
| <b>Ilustración 10-4:</b> Geometría simplificada de la Cámara en SpaceClaim.....  | 141 |
| <b>Ilustración 11-4:</b> Mallado de la Cámara en Mechanical ANSYS .....  | 142 |
| <b>Ilustración 12-4:</b> Métricas de Calidad de Malla de la Cámara .....   | 143 |
| <b>Ilustración 13-4:</b> Condiciones de frontera aplicadas en la Cámara .....  | 144 |
| <b>Ilustración 14-4:</b> Resultado de Esfuerzo Equivalente en la cámara .....  | 144 |
| <b>Ilustración 15-4:</b> Resultado de Deformación Total en la cámara.....  | 145 |
| <b>Ilustración 16-4:</b> Resultado de análisis a fatiga en la cámara.....  | 145 |
| <b>Ilustración 17-4:</b> Geometría simplificada de la Tolva en SpaceClaim.....   | 146 |
| <b>Ilustración 18-4:</b> Mallado de la Tolva en Mechanical ANSYS.....  | 146 |
| <b>Ilustración 19-4:</b> Métricas de Calidad de Malla de la Tolva .....  | 147 |
| <b>Ilustración 20-4:</b> Condiciones de frontera aplicadas en la Tolva .....   | 148 |
| <b>Ilustración 21-4:</b> Resultado de Esfuerzo Equivalente en la Tolva .....   | 149 |
| <b>Ilustración 22-4:</b> Resultado de Deformación Total en la tolva .....  | 149 |
| <b>Ilustración 23-4:</b> Resultado de análisis a fatiga en la tolva .....  | 150 |
| <b>Ilustración 24-4:</b> Geometría simplificada de la Turbina en SpaceClaim .....  | 150 |
| <b>Ilustración 25-4:</b> Mallado de la Turbina y Arreglo de Conexiones en el ensamble<br>(contactos) en Mechanical ANSYS ..... | 152 |
| <b>Ilustración 26-4:</b> Métricas de Calidad de Malla de la Turbina.....   | 152 |
| <b>Ilustración 27-4:</b> Condiciones de frontera aplicadas en la Turbina.....  | 153 |
| <b>Ilustración 28-4:</b> Resultado de Esfuerzo Equivalente en la Turbina .....   | 154 |
| <b>Ilustración 29-4:</b> Resultado de Deformación Total en la turbina .....  | 154 |
| <b>Ilustración 30-4:</b> Resultado de análisis a fatiga en la turbina.....   | 155 |
| <b>Ilustración 31-4:</b> Proceso de Rolado en el desarrollo de la cámara.....  | 156 |
| <b>Ilustración 32-4:</b> Proceso de torneado en el mecanizado de la turbina .....  | 157 |
| <b>Ilustración 33-4:</b> Proceso de Soldadura en el ensamble de la turbina del pulverizador ...                                | 157 |
| <b>Ilustración 34-4:</b> Ruta de evaluación para el molino pulverizador .....  | 159 |
| <b>Ilustración 35-4:</b> Etapas de evaluación para el molino pulverizador .....  | 160 |

## ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A:** ENCUESTA PREELIMINAR DE MERCADO PARA DETERMINAR LOS REQUERIMIENTOS DEL CLIENTE
- ANEXO B:** ANÁLISIS DE COMPETENCIAS - CASA DE LA CALIDAD - XINXIANG CHENWEI MACHINERY CO. (MODELO CW-UP-2200)
- ANEXO C:** ANÁLISIS DE COMPETENCIAS - CASA DE LA CALIDAD - INTERINOX
- ANEXO D:** HOJA DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS MOTOR WEG W22
- ANEXO E:** CATÁLOGO DE POLEAS Y BANDA
- ANEXO F:** PROPIEDADES MECÁNICAS ACERO INOXIDABLE AISI 304
- ANEXO G:** RODAMIENTOS Y SOPORTES
- ANEXO H:** HOJA DE ESPECIFICACIONES CHAVETAS ACERO INOX DIN 6885
- ANEXO I:** CARACTERÍSTICAS DE LOS PERNOS A2 II CRC
- ANEXO J:** PROPIEDADES MECÁNICAS PERFILERÍA ESTRUCTURAL ACERO INOXIDABLE
- ANEXO K:** COMBINACIONES DE CARGA PARA EL ANÁLISIS DE UNA ESTRUCTURA SEGÚN LA NORMA NEC – SE - C
- ANEXO L:** DESARROLLO ANÁLISIS DE RESISTENCIA ESTRUCTURAL DELBASTIDOR DEL MOLINO PULVERIZADOR EN EL SOFTWARE SAP 2000
- ANEXO M:** DESARROLLO ANÁLISIS DE RESISTENCIA MECÁNICA Y RIGIDEZ DEL ÁRBOL DEL MOLINO PULVERIZADOR EN EL SOFTWARE SAP 2000
- ANEXO N:** DESARROLLO VALIDACIÓN CAE POR ELEMENTOS FINITOS USANDO EL SOFTWARE ANSYS
- ANEXO O:** REGISTRO FOTOGRÁFICO DEL PROCESO DE CONSTRUCCIÓN DEL MOLINO PULVERIZADOR
- ANEXO P:** PROTOCOLO DE PRUEBAS DEL MOLINO PULVERIZADOR
- ANEXO Q:** MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL MOLINO PULVERIZADOR
- ANEXO R:** MANUAL DE SEGURIDA
- ANEXO S:** PLANO

## RESUMEN

El presente trabajo de titulación tuvo como finalidad diseñar y construir un pulverizador de productos deshidratados, con capacidad de 30 kg/h para una planta de producción agroindustrial. Empleando la metodología de despliegue de función calidad (QFD) para obtener parámetros técnicos específicos y la mejor alternativa de maquinaria mediante la evaluación de criterios, donde se obtuvo que la mejor alternativa es un pulverizador de cuchillas de impacto, con estos datos se procedió al diseño de detalle, conformado por la elección del material, el diseño y selección de elementos de máquinas, y el análisis estructural mediante software. Con estos resultados se procedió al diseño de materialización, donde se elaboró mediante software de dibujo asistido por computadora (DAC) modelos de las geometrías previamente diseñadas, posteriormente se realizó planos de manufactura, en los que se detalló las especificaciones técnicas, dimensiones y procesos requeridos para la fabricación, con estos modelos se realizó una validación de diseño mediante software de ingeniería asistida por computadora (CAE) de elementos críticos del pulverizador, se determinó los parámetros de análisis y se observó que el diseño realizado fue concordante con los resultados obtenidos, esto permitió la construcción y montaje del pulverizador, con el prototipo se realizó un protocolo de pruebas en donde se evaluaron las etapas de funcionamiento de la máquina bajo operación normal y se demostró el correcto desempeño del proceso de molienda. Se concluye que la metodología empleada para elaborar el proyecto fue adecuada, ya que se establecieron las especificaciones del pulverizador, y se seleccionó correctamente el tipo de molienda, además se dimensionó cada uno de los elementos constituyentes del pulverizador y se corroboró su correcto desempeño. Se recomienda instalar la maquinaria en una superficie plana y no elevar la velocidad de operación, ni la carga preestablecida, ya que puede ocasionar accidentes y pérdidas excesivas de material.

**Palabras Clave:** <PULVERIZADOR> <PRODUCTOS DESHIDRATADOS> <DESPLIEGUE DE LA FUNCIÓN DE CALIDAD (QFD)> <CUCHILLAS DE IMPACTO> <INGENIERIA ASISTIDA POR COMPUTADORA (CAE)> <DIBUJO ASISTIDO POR COMPUTADORA (DAC)>.

1352-DBRA-UPT-2023



## SUMMARY

The purpose of this degree work was to design and build a sprayer for dehydrated products, with a capacity of 30 kg/h for an agro-industrial production plant. Using the quality function deployment (QFD) methodology to obtain specific technical parameters and the best machinery alternative through the evaluation of criteria, where it was obtained that the best alternative is an impact blade pulverizer, with these data the design was carried out of detail, made up of the choice of material, the design and selection of machine elements, and structural analysis using software. With these results, the materialization design was carried out, where models of the previously designed geometries were prepared using computer-aided drawing software (CAD), later manufacturing plans were made, in which the technical specifications, dimensions and processes required were detailed. For manufacturing, with these models a design validation was carried out using computer-aided engineering software (CAE) of critical elements of the sprayer, the analysis parameters were determined and it was observed that the design carried out was consistent with the results obtained, it allowed the construction and assembly of the pulverizer, with the prototype a test protocol was carried out where the operating stages of the machine under normal operation were evaluated and the correct performance of the grinding process was demonstrated. It is concluded that the methodology used to develop the project was adequate, since the specifications of the sprayer were established, and the type of grinding was correctly selected, in addition, each of the constituent elements of the sprayer was sized and its correct performance was corroborated. It is recommended to install the machinery on a flat surface and not increase the operating speed or the preset load, since it can cause accidents and excessive material loss.

**Keywords:** <SPRAYER> <DEHYDRATED PRODUCTS> <QUALITY FUNCTION DEPLOYMENT (QFD)> <IMPACT BLADES> <COMPUTER AIDED ENGINEERING (CAE)> <COMPUTER AIDED DRAWING (CAD)>.



Lic. Luis Francisco Mantilla Cabrera Mgs.

CI:0603747809

## **INTRODUCCIÓN**

Los beneficios que otorgan los productos deshidratados en el mercado ecuatoriano han provocado que se requieran varios mecanismos para poder aprovechar de mejor manera estos recursos, especialmente en los tiempos actuales, debido al auge de los productos naturales.

Este crecimiento acelerado del sector agroindustrial enfocado a productos para el consumo humano repercute directamente en los procesos tradicionales de producción, y los productos con mayor demanda reciente, son los polvos de productos deshidratados, así como diferentes derivados de estos productos. (Cajamarca et al., 2020, p.2).

Bajo este contexto, el siguiente proyecto tiene como objetivo general, el construir un pulverizador orientado a productos deshidratados bajo diferentes grados de trituración con una capacidad de 30 Kg/h para un sistema de producción agroindustrial, incluyendo para esto un análisis de la materia prima y los requerimientos del proceso, para determinar el mejor método de pulverización mediante un estudio de alternativas, y un proceso de selección ponderado para determinar la opción más viable, así como la selección adecuada de materiales constructivos y de molienda, las normas establecidas en la actualidad para los procesos alimenticios en Ecuador, así como factores de calidad, seguridad y mantenimiento. (Freire et al., 2017, pp.11-17).

El diseño de este dispositivo se realiza con un procedimiento adecuado, tomando en cuenta para esto, parámetros de seguridad y mantenimientos programados para la máquina en funcionamiento dentro de un sistema de producción industrial, buscando minimizar costos de funcionamiento y riesgos para el ser humano y el ambiente, así como la generación de planos enfocados en la fabricación y el montaje de la maquinaria. (Calderon, 2020, pp.36-49).

Una vez obtenido el prototipo, se procede a validar su funcionamiento mediante pruebas de campo, verificando de esta forma, su resistencia, maniobrabilidad, seguridad y rendimiento, procesando los datos obtenidos mediante técnicas estadísticas pertinentes, observando el cumplimiento de los requerimientos establecidos anteriormente, culminando así la implementación integral del proyecto. (Lora y Jaimes, 2021, pp.57-76).

## CAPÍTULO I

### 1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

#### 1.1. Antecedentes

El polvo de producto deshidratado es un tipo de harina compacta elaborada principalmente a partir de frutos deshidratados y de hojas secas, estos productos son altamente beneficiosos debido a que concentran sus propiedades nutricionales y extienden notablemente su periodo de conservación, lo cual ha provocado que aumente su demanda en el mercado nacional, y, en consecuencia, la producción industrial para su obtención. (Fellows, 2000, pp.98-116).

De acuerdo con Moyano y González (2022, p.2), un molino pulverizador es el equipo de molienda ideal para industrializar el proceso de obtención de polvo a partir de productos deshidratados, este equipo es diseñado según un mecanismo de pulverización mediante el cual una materia prima con un bajo porcentaje de humedad puede ser pulverizada hasta lograr una medida satisfactoria de granulometría.

Esta demanda ya ha sido atendida por otros países alrededor del mundo, teniendo especial atención en el continente africano (Adeyeri et al., 2018, pp.1336-1347), por ejemplo, abordó el diseño integral de un pulverizador para polvos de origen vegetal incluyendo su envasado y etiquetado, usando para este cometido, las normas nacionales de fabricación alimenticia, y un proceso adecuado de diseño mecánico con una validación de cada componente mediante método de elemento finito, obteniendo de esta forma una maquina segura y validada para las condiciones de trabajo que se presentaron.

Regionalmente en Latinoamérica existen compañías de relevancia que apoyados en la innovación universitaria impulsan el desarrollo de tecnología para la industria alimentaria, se evidencia en el trabajo propuesto por Ibarra (2018, pp.37-40) en el Perú, quien desarrolló la tesis que lleva por título Diseño de un molino de ají paprika en industrias Fraclen SRL, documento en el cual se detalla el diseño bajo metodología VDI 2222, así también se muestra el prototipo implementado y validado por software especializado de elementos finitos previos al desarrollo de planos de fabricación y montaje.

También se ha abordado esta temática en la industria nacional, con varios proyectos prácticos para la construcción de dispositivos que cubran este rubro, se destaca, por ejemplo, el proyecto

de Cuadrado y Rueda (2009, pp.5-22), el cual abordó el diseño y construcción de un molino de martillos enfocado en la producción de harinas blancas, de donde se pudo obtener un método barato y eficiente para mejorar la producción dentro del sector alimenticio, reduciendo costos y tiempos de producción.

## **1.2. Delimitación**

### ***1.2.1. Delimitación espacial***

El presente trabajo se desarrollará en la ciudad de Riobamba, provincia de Chimborazo del territorio nacional del Ecuador.

### ***1.2.2. Delimitación sectorial***

El estudio y desarrollo de este trabajo se acoge al Plan Nacional de Desarrollo 2021-2025, en base a los objetivos 1 y 3 los cuales indican; Incrementar y fomentar, de manera inclusiva, las oportunidades de empleo y las condiciones laborales; Fomentar la productividad y competitividad en los sectores agrícola, industrial, acuícola y pesquero, bajo el enfoque de la economía circular.

## **1.3. Formulación del problema**

Debido a la demanda en auge de los productos deshidratados y sus derivados, la industria ecuatoriana necesita nuevos dispositivos de industrialización para generar valor agregado a estos productos, la ciudad de Riobamba, por su posición geográfica aventajada es un punto ideal de agro industrialización, donde surge la necesidad de innovar en cuanto al diseño y la construcción de nuevas máquinas y herramientas que participen de manera activa en los sistemas de producción agroindustrial ya existentes. (Salas, 2012a: pp.15-27).

Bajo este contexto se ha visto la necesidad de diseñar y construir un molino pulverizador de productos deshidratados con capacidad de producción de 30 kg/h que se integre dentro de una planta de producción agroindustrial con el objetivo de reducir costos y aumentar la eficiencia en la producción de esta, ofreciendo mayores ventajas de competitividad a la industria local.

## **1.4. Objetivos**

### ***1.4.1. Objetivo general***

- Diseñar y construir un molino pulverizador de productos deshidratados, con capacidad de 30 kg/h para una planta de producción agroindustrial.

### ***1.4.2. Objetivos específicos***

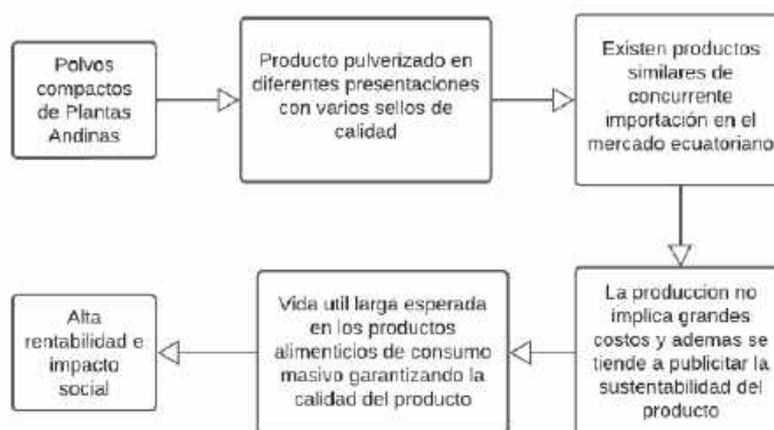
- Determinar la potencia del molino requerida para asegurar el tamaño de la partícula y el porcentaje de humedad del producto pulverizado.
- Definir un tamaño de la partícula óptimo del producto final para poder optimizar la pérdida del molino.
- Garantizar que la capacidad de producción del molino pulverizador de productos deshidratados cumpla con la cantidad de azúcar y el aspecto visual establecido.
- Evaluar el nivel de ruido del Molino pulverizador para garantizar su operabilidad dentro de una planta de producción agroindustrial.

## CAPÍTULO II

### 2. REVISIÓN DE LITERATURA Y FUNDAMENTOS TEÓRICOS

#### 2.1. Polvo de productos deshidratados

El polvo de producto deshidratado es un tipo de harina compacta elaborada principalmente a partir de frutos deshidratados y de hojas secas, estos productos son altamente beneficiosos debido a que concentran sus propiedades nutricionales y extienden notablemente su periodo de conservación, lo cual ha provocado que aumente su demanda en el mercado nacional, y, en consecuencia, la producción industrial para su obtención. (Solano et al., 2015a: pp.40-69).



**Ilustración 1-2:** Diagrama de flujo de proceso de producción agroindustrial

Fuente: (Solano et al., 2015b: p.54)

La materia prima son hojas y frutos deshidratados para diferentes usos, entre estos, plantas medicinales, tónicos y reconstituyentes llamativas para el mercado ecuatoriano, así como especias y harinas de repostería.

##### 2.1.1. Tamaño de la Partícula

Las consideraciones que se deben tomar para aplicarse en la molienda según las etapas de trituración se resumen en la tesis de Huaman y Norabuena (2021a: pp.20-31), el tamaño de las partículas varía al aplicarse los métodos de desintegración de sólidos que se detallan a continuación.

### 2.1.1.1 Trituración

En el apartado de trituración de acuerdo con el tamaño de la partícula por obtener a la salida de la trituración esta puede ser: (Smith, 2011a: pp.246-269).

- Clase I para partículas con granulometría de producto terminado de hasta 135 mm
- Clase II para partículas con granulometría de producto terminado de 30 mm y menores de 135mm
- Clase III para partículas con granulometría de producto terminado mayores a 4 mm y menores de 30 mm

### 2.1.1.2 Molienda

De acuerdo con el tamaño de las partículas de salida del material triturado en un proceso de molienda se clasifica en: (Smith, 2011b: pp.271-292).

- Molienda de clase A: Tamaños de partículas de salida de 0.1 y 0.3 mm
- Molienda de clase B: Tamaños de partículas de salida menores de 0.1 mm

### 2.1.2. Porcentaje de Humedad

El porcentaje de humedad es la característica principal de los productos deshidratados, y es el indicador más importante de un adecuado proceso de producción, para el caso de los polvos elaborados a partir de estos productos, también es el parámetro principal a controlar, en primera instancia, durante el ingreso de materia prima, en el cual se necesita controlar el porcentaje de humedad residual de alimento seco Hs (%), y en segunda instancia, al producto terminado, donde se busca que el porcentaje de humedad sea el adecuado para su correcto embasamiento y conservación (Guayllas y Poma, 2021, pp.40-56).

**Tabla 1-2:** Porcentaje de humedad de los principales productos deshidratados

| Alimento    | Humedad alimento fresco Hf (%) | Humedad residual alimento seco Hs (%) | Temperatura máxima °C |
|-------------|--------------------------------|---------------------------------------|-----------------------|
| Melocotón   | 85                             | 18                                    | 60                    |
| Manzana     | 84                             | 14                                    | 50                    |
| Higo        | 80                             | 16                                    | 65                    |
| Albaricoque | 87                             | 18 – 24                               | 60                    |
| Banana      | 80                             | 15                                    | 70                    |
| Uva         | 80                             | 15 – 20                               | 55                    |

|                    |    |         |    |
|--------------------|----|---------|----|
| Mango              | 85 | 12 – 16 | 65 |
| Tomate             | 95 | 8       | 65 |
| Zanahoria          | 70 | 5       | 60 |
| Repollo            | 94 | 4       | 55 |
| Ajo                | 80 | 8 – 10  | 55 |
| Cebolla            | 80 | 4       | 55 |
| Guisantes          | 80 | 5       | 60 |
| Apio               | 94 | 12      | 60 |
| Pimiento           | 87 | 8       | 55 |
| Patata             | 75 | 12      | 55 |
| Batata             | 80 | 13      | 70 |
| Hierbas aromáticas | -  | -       | 45 |

Fuente: (Mejía, 2022, pp.15-21)

La tabla anterior muestra los porcentajes de Humedad de alimento fresco Hf (%), es decir, la humedad previa al proceso de deshidratado, y la Humedad residual de alimento seco Hs(%), la cual sería la humedad con la que entrará la materia prima al proceso de molienda de varios productos, es necesario que el producto a ingresar tenga un porcentaje residual menor al 15 %, esto debido a que este es el límite máximo establecido por la norma NTE INEN 616:2015, (Zambrano, 2021a: pp.57-76), el cual es usado como parámetro guía, y es coincidente con varios estándares internacionales en harinas de origen vegetal, donde se detalla que este límite debe ser menor al 15% en el momento del envasado, debido a que durante su conservación y almacenamiento el producto aumenta gradualmente su humedad debido al carácter higroscópico de las harinas, y si se supera este límite, es mucha más factible que los parásitos y hongos se instauren dentro del producto, reduciendo drásticamente su conservación.

Para poder medir este parámetro de manera adecuada (NTE INEN ISO, 2013: p.15), se empleará como referencia el procedimiento que establece la norma NTE INEN-ISO 712:2013, la cual especifica un método de rutina de referencia para la determinación del contenido de humedad en cereales y productos cereales, incluyendo dentro de su alcance a las harinas de origen vegetal, este método se basa de manera general en la determinación de humedad por pérdida de peso.

### **2.1.3. Cantidad de azúcar**

Un aspecto fundamental que controlar dentro del producto final, es la cantidad de azúcar de este, esto debido a que las frutas en estado natural poseen importantes cantidades de fructosa y glucosa,

la cual se ve concentrada al realizarse el proceso de deshidratación, al igual que sus calorías porcentuales y su valor nutricional. (Bazurto et al., 2022, p.26)

**Tabla 2-2:** Calorías porcentuales de frutas deshidratadas

| Fruta deshidratada | Azúcar (100 g) | Calorías (Kcal) |
|--------------------|----------------|-----------------|
| Higo               | 55             | 317             |
| Albaricoque        | 39             | 179             |
| Banana             | 21             | 517             |
| Uva                | 67             | 295             |
| Mango              | 63             | 359             |
| Fresa              | 79             | 343             |
| Piña               | 82             | 341             |

**Fuente:** (Gualoto, 2018, pp.43-56)

La tabla anterior muestra la cantidad de azúcar presente dentro de varias frutas por cada 100 gramos de producto (Gualoto, 2018, pp.43-56), y el valor Calórico que presenta cada una de ellas por la misma cantidad, se destaca que según el porcentaje de humedad que se pierde durante el proceso de deshidratación, la cantidad de azúcar se concentra, sin embargo su porcentaje calórico no aumenta significativamente, siendo un caso especial el plátano, en el cual la diferencia de calorías es mayor por su método de producción agrícola.

Para poder medir la cantidad de azúcar en el producto final, se empleará como referencia la norma técnica ecuatoriana NTE INEN 273:1990 la cual establece un procedimiento de ensayo para determinar la densidad mediante un refractómetro, en escala Brix, para melazas, método con el cual somos capaces de conocer el grado de glucosa presente dentro de nuestro producto final. (NTE INEN 273, 1990: p.12).

#### **2.1.4. Aspecto Visual**

El color es uno de los principales aspectos en el proceso de control de indicadores de calidad para la industria alimenticia, tal es así su referencia para la estandarización de productos y derivados de la industria. De acuerdo con Nitrigual (2010, pp.4-18), la búsqueda de un método o una herramienta que permita controlar la escala de color que presente un producto se conceptualiza en múltiples teorías de color y escalas desarrolladas a lo largo de la historia en congruencia con el avance paulatino de la tecnología y la caracterización de propiedades del color.

Actualmente dentro de los procesos y prácticas de manufactura, los procesadores de alimentos usan el color como una característica particular de cada etapa dentro de las fases de procesamiento de un alimento, es decir cadenas de producción que cuentan con etapas propias de una transformación de la materia requieren un control de color que se acople a indicadores de calidad del producto en cada una de las etapas descritas. (Del Valle y Mina, 2021, pp.11-35)

El departamento de agricultura de Estados Unidos ha desarrollado con un grupo de colaboradores una serie de estándares Munsell los cuales se definen con un alcance proyectado hacia la selección de materias primas y a la clasificación de estas dentro de un proceso productivo en función del color. (Munsell, 2023). La industria alimentaria estadounidense es una de las pioneras en el desarrollo y aplicación de herramientas estandarizadas de identificación de color, se destacan actividades y casos prácticos dentro de las fases de procesamiento y envasado de alimentos con el uso de los estándares de color Munsell.

**Tabla 3-2:** Estándares de Color Munsell del departamento de agricultura de Estados Unidos

| Estándar de Color de Tomates Grado A&C  | Estándar de color de Calabaza Squash  | Estándar de color de Papas Fritas Congeladas  | Estándar de color de cerezas congeladas   | Estándar de color de tomate enlatado   | Estándar de color de aceitunas maduras enlatadas                                      |
|---|---|---|---|--|---|
|  |  |  |  |  |  |

Fuente: (Munsell Color, 2023)

De acuerdo con boletines de referencia en la región, se identifican los procesos de inspección visual como parte del proceso de verificación de materias primas, con el objetivo de depurar ciertos contaminantes o alteraciones en la composición del elemento, se definen ciertos rangos para caracterización de propiedades como la densidad, la temperatura, el tamaño, la textura y la humedad para la efectiva valoración del estado del alimento procesado.

El uso de un sistema de orden de colores se basa en un desarrollo de tendencias científicas que garantizan un índice de confiabilidad para la caracterización de propiedades de un producto, los términos de color sueltos y no definidos como el grado de tonalidad, valor o croma pueden ser

catalogados de modo práctico en el registro de lotes de materia prima o materia procesada. (Valero y Ruiz, 1998, pp.38-45)

Las tolerancias de color se pueden expresar fácil y significativamente con planes de respaldo en la documentación y registros de inspección, las clasificaciones de color de muchos productos agrícolas e industriales se pueden lograr fácilmente lo cual muestra un proceso significativo en términos cuantitativos que para un contexto empresarial o de investigación resulta en una herramienta de alto interés e impacto.

## 2.2. Molino pulverizador

Un molino pulverizador es el equipo de molienda ideal para industrializar el proceso de obtención, este equipo es diseñado según un mecanismo de pulverización mediante el cual una materia prima con un bajo porcentaje de humedad puede ser pulverizada hasta lograr una medida satisfactoria de granulometría. (Baudelaire, 2013, pp.132-149)

La técnica de molienda desde hace algunos años ha tomado una gran importancia en la industria. Anteriormente la gran variedad de productos se los utilizaba en estado bruto o fragmentos, en concordancia a (Barbosa et al., 2005, pp.157-173), hoy en día estos deben ser pulverizados para ser tratados. La molienda resulta esencial por los impactos favorables que esta presenta en un proceso productivo, aumenta así la productividad y reduce los costos de producción.

Los equipos utilizados en molienda se clasifican en función del tamaño del material requerido a la salida de estos, los cuales se presentan en la siguiente tabla.

**Tabla 4-2:** Intervalo de reducción de tamaño en molinos pulverizadores

| <b>Intervalo de reducción de partículas</b> | <b>Denominación del molino</b> | <b>Categoría según el principio de molienda</b> |
|---|--------------------------------|---|
| > 135 mm                                    | Triturador                     | De percusión                                    |
| 135 – 30 mm                                 | Pulverizador                   | Cuchillas de Impacto                            |
| 30 - 4 mm                                   | Micro pulverizador             | Por fricción                                    |

Fuente: (Reyes, 2001, pp.46-53)

### 2.2.1. Molino pulverizador de rodillos gruesos

De acuerdo con Salas (2012: p.28), el equipo de molino de rodillos de grueso consta de dos cilindros de acero que rotan en sentido contrario, uno de cada par de rodillos gira sobre cojinetes fijos, de

esta manera se puede definir la distancia entre ambos rodillos, entonces las partículas atrapadas son reducidas de tamaño por fuerza de compresión.



**Ilustración 2-2:** Molino pulverizador de rodillos gruesos

**Fuente:** (Salas, 2012b: pp.28-32).

La parte más importante de este molino pulverizador se basa en sus rodillos, al ser un elemento sometido a fricción es comúnmente construido a base de aleaciones de molibdeno, esta característica además le dota de una resistencia en alto grado a la corrosión. Este tipo de pulverizadores comúnmente se encuentran acoplados directamente a un motor eléctrico en el mismo nivel que el árbol de transmisión de potencia a la cámara de triturado, otra consideración de este ensamble es que al tratarse de rodillos continuos se acostumbran a ser diseñados por un par de engranes con relación de 1 a 1. (Salas, 2012b: pp.28-32).

### **2.2.2. Molino pulverizador de martillos**

En concordancia con Freire y Lalbay (2022, pp.20-24), un molino de martillos es un dispositivo de molienda que tiene como principio de funcionamiento el triturar el material mediante el impacto del material con la fuerza motriz de un conjunto de martillos en un eje rotativo, ocupando un movimiento circunferencial cíclico y una disposición polar de los martillos para poder cumplir con el proceso de molienda, Todo el material particulado llega a la cámara de pulverización y es empujado por estos percutores, hacia la periferia de la cámara, donde se genera el impacto y se realiza el proceso de reducción de tamaño.



**Ilustración 3-2:** Molino pulverizador de martillos

**Fuente:** (Freire y Lalbay, 2022, pp.20-24)

Es muy usual para poder alcanzar tamaños de la partícula del producto terminado menores a los de otros procesos de molienda, debido a que su principio de funcionamiento genera un proceso más controlado y por tanto, su tendencia está encaminada a material fino, otra ventaja que tiene es que debido a que se realiza el proceso en una cámara cerrada, el porcentaje de pérdida de material es mucho menor al de otros procesos de molienda, la regulación de este tipo de molinos para poder controlar el tamaño de salida, dependerá de la velocidad del rotor. (Freire y Lalbay, 2022, pp.20-24).

### **2.2.3. Molino de pulverizador de discos**

Tomando en cuenta a Rueda y Sánchez (2015, pp.38-40), el molino de disco sencillo o de abrasión utiliza la fuerza de corte para reducir el tamaño de un material sólido, es utilizado principalmente en la molienda fina. Los discos tienen una superficie dentada o con canaletas, uno de los discos gira a alta velocidad el cual se enfrenta a un disco fijo, una particularidad de este diseño resulta en la transmisión acoplada directamente a un motor eléctrico, esta resulta en una similitud con el modelo pulverizador de rodillos, este tipo de molinos resultan algo fáciles de movilizar debido a esta característica lo cual también se traduce en un menor peso y un cronograma de mantenimiento muy manejable por el personal a cargo.



**Ilustración 4-2:** Molino pulverizador de discos

**Fuente:** (Rueda y Sánchez, 2015, pp.38-40)

Existen otras configuraciones para molinos de fricción por elementos rodantes dentro de una cámara, uno de los más empleados es el molino de atracción, este molino posee una configuración de disco doble, lo cual le permite realizar el proceso de molienda de mejor manera, y se denomina de atracción, ya que cada uno de los discos que rotan dentro de la cámara, tienen direcciones opuestas, lo que genera un fenómeno de atracción del material particulado y facilita el desgaste del material a moler, haciendo mucho más eficiente el proceso de molienda y reduciendo las pérdidas de material. (Rueda y Sánchez, 2015, pp.38-40).

#### **2.2.4. Molino de pulverizador de bolas**

De acuerdo con Rodríguez (2019, pp.17-23), el molino de bolas es utilizado en la industria para lograr una molienda fina o ultrafina, consta de un tambor cilíndrico el cual, rota a baja velocidad, en su interior está lleno de bolas de acero o barras. Algunas de las características que destacan en este tipo de pulverizadores son la estabilidad a altas revoluciones en ciclos de molienda, el controlador de velocidad por convertidores de frecuencia y el switch de emergencia instalado en la interfaz como se observa en la siguiente Ilustración.



**Ilustración 5-2:** Molino pulverizador de bolas

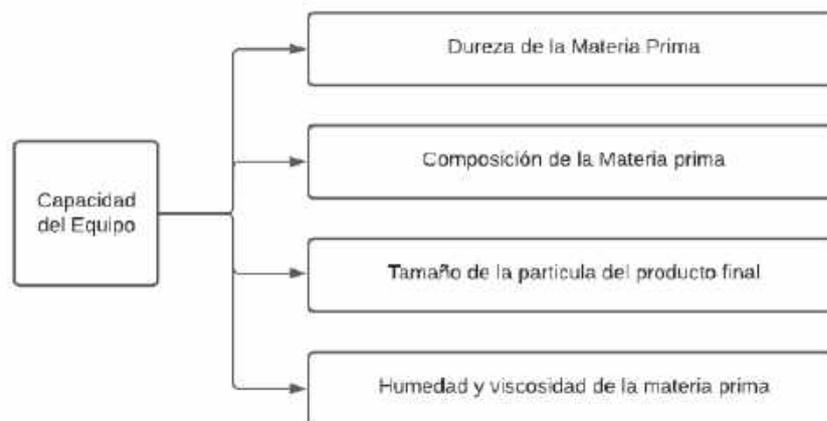
**Fuente:** (Rodríguez et al., 2019, pp.17-23)

Las bolas se mueven y provocan un efecto de cascada. Esto permite que el material dentro de la cámara sea molido mediante fricción y percusión. Así, la rotación y el impacto de las bolas con el material al caer favorecen la molienda. Al ser un molino de percusión depende del elemento percutor que en este caso son las bolas, el tipo de material empleado resulta en una variable esencial para el ciclo de molienda, en el mercado podemos encontrar todo tipo de materiales como acero inoxidable, aluminio, zirconio, carburos de tungsteno o acero quirúrgico, por mencionar algunos ejemplos de aplicación. (Rodríguez et al., 2019, pp.17-23).

### 2.3. Parámetros de diseño y requisitos de operación

#### 2.3.1. Capacidad de producción

Durante el proceso de producción de pulverizados, existen varios parámetros que afectan directamente la capacidad de procesamiento del equipo, estos pueden llegar a otorgar un problema para el desempeño del molino pulverizador, por tanto, es necesario que tanto los operadores como el personal especializado esté pendiente de estos factores para poder asegurar una operación continua y estable. (Espinoza y Mori, 2019, pp.11-15).



**Ilustración 6-2:** Capacidad de producción de un equipo pulverizador

Fuente: (Espinoza y Mori, 2019, pp.11-15)

De acuerdo con la literatura de referencia citada, se ha concluido por medio de análisis de estadística inferencial que se puede aumentar la productividad de mano de obra de un molino así como la productividad de materia prima con el correcto manejo de las variables del proceso empleadas en el diseño, construcción y operación de dicho molino, con lo cual podemos inferir que variables como la dureza de la materia prima, la composición de la misma tienen un efecto directo en el tamaño de la partícula del producto final.

### 2.3.1.1. Dureza de la materia prima

Uno de los factores que pueden afectar de manera constante y directa a la producción de un pulverizador es la dureza de la materia prima a ingresar, debido a que mientras más duro sea el material de ingreso, resulta más difícil de pulverizar para la máquina trituradora, lo que conlleva a una reducción de la capacidad del molino y por tanto a todo el ciclo de producción, es importante por ello, que las especificaciones del pulverizador coincidan con la dureza de la materia prima, además se debe capacitar a los operadores sobre esta problemática. (Japa, 2022, pp.34-60).

### 2.3.1.2. Composición de la materia prima

En primera instancia el polvo fino existente de la materia ingresante es un problema para la capacidad y el funcionamiento adecuado del molino pulverizador, debido que es muy probable que estas partículas se peguen a las paredes de la tolva o de las partes del molino previas a la cámara de trituración, lo que afectará a largo plazo al proceso molienda y por tanto al proceso de producción normal, por lo que es menester del operario examinar la materia entrante para cerciorarse que la producción no se vea mermada debido a que la composición del material ingresado no sea la óptima para poder cumplir con el proceso de molienda. (Rodríguez, 2013, pp.2-21).

### 2.3.1.3. Tamaño de la partícula del producto final

Normalmente, un tamaño de partícula fino es un requisito para un proceso de pulverización lo que implica un mayor tiempo de molienda dentro de la maquina lo cual disminuye relativamente la capacidad de esta, por tanto, es muy importante definir el tipo de molino mediante el cual se realiza este proceso. (Fellows, 2000b: p.102).

| Equipment         | Type of product <sup>a</sup> |   |   |   |   | Fineness <sup>b</sup> |   |   |   |
|-------------------|------------------------------|---|---|---|---|-----------------------|---|---|---|
|                   | 1                            | 2 | 3 | 4 | 5 | a                     | b | c | d |
| Slicers           |                              |   | * | * | * | *                     |   |   |   |
| Dicers            |                              |   | * | * | * | *                     |   |   |   |
| Shredders         |                              |   | * | * | * | *                     | * |   |   |
| Bowl choppers     |                              |   | * | * | * | *                     | * | * |   |
| Pre-crushers      | *                            |   |   | * | * | *                     | * | * |   |
| Hammer mills      | *                            | * |   | * | * | *                     | * | * | * |
| Fine impact mills | *                            |   |   | * | * | *                     | * | * | * |
| Classifier mills  | *                            |   |   |   | * |                       |   |   | * |
| Air jets mills    | *                            | * |   |   | * |                       |   |   | * |
| Ball mills        |                              | * |   |   |   |                       |   |   | * |
| Disc mills        | *                            |   |   |   |   |                       |   | * | * |
| Roller mills      | *                            |   |   | * | * |                       |   | * | * |
| Pulpers           |                              |   |   | * |   |                       |   | * | * |

<sup>a</sup> 1 = soft brittle crystalline; 2 = hard abrasive; 3 = elastic tough cuttable; 4 = fibrous; 5 = heat sensitive greasy.

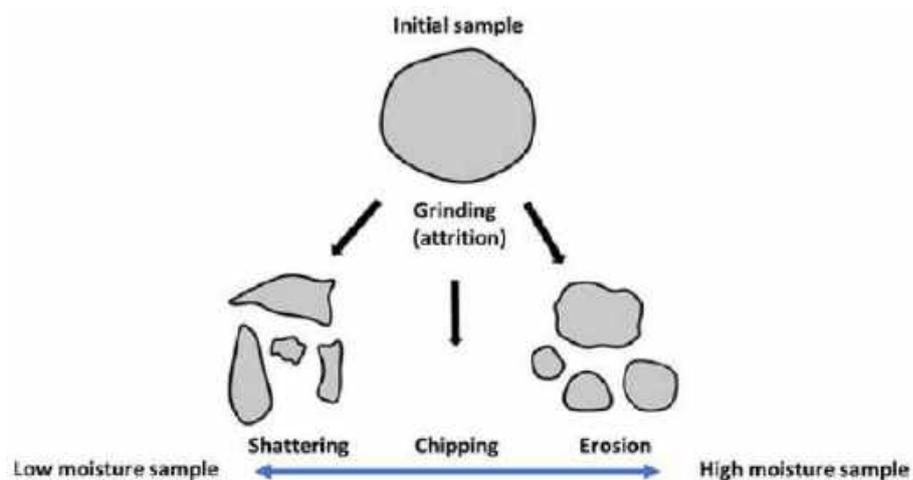
<sup>b</sup> a = coarse lumps; b = coarse grits; c = medium to fine; d = fine to ultra-fine.

### **Ilustración 7-2:** Equipos de pulverizado según el tamaño de partícula

Fuente: (Fellows, 2000, p.102).

#### 2.3.1.4. Viscosidad y humedad de la materia prima

Mientras más viscosidad tenga la materia prima, existe una mayor adherencia entre cada partícula de la misma, por lo cual en referencia con (Jung, 2018, p.69), muchas de estas no conseguirán un adecuado proceso de trituración en el tiempo adecuado llegando incluso a adherirse a las diferentes partes del molino, siendo muy similar a lo que ocurre con las materias primas con alto porcentaje de humedad, donde es probable que ocurran atascamientos o bloqueos y se reduzca la capacidad de producción por estos parámetros.



**Ilustración 8-2:** Relación entre contenido de humedad y mecanismos de reducción de tamaño de partícula

Fuente: (Jung, 2018, p.69)

#### 2.3.2. Pérdida del molino

De manera general, los procesos de molienda implican una pérdida de materia prima, la cual dependerá de varios factores, incluyéndose el tipo de producto a triturar, el manejo del operario, el almacenamiento y el transporte durante las diferentes etapas que existan dentro del proceso productivo, la mayoría de las pérdidas que se puedan llegar a producir se producen luego de realizar la pulverización, debido a que el polvo es una sustancia muy volátil. (Fitzpatrick y Ahmé, 2005, pp.209-214).

Bajo este contexto es primordial determinar las áreas específicas donde se desarrollan estas pérdidas, ya que esto repercute de manera directa en los beneficios económicos del proceso de producción. Es necesario medir con una gran exactitud las mermas totales del producto pulverizado, mediante un correcto control del material entrante y saliente, de cada etapa, es decir, cuantificar el caudal masico de materia prima que se pierde durante la molienda, y si la pérdida es demasiado significativa, implementar un sistema de monitoreo de partículas en continuo con

el fin de determinar la zona de mayor afección y así poder encontrar la solución ideal para lograr contrarrestar la emisión de partículas. (Bhandari et al., 2013, pp.132-149).

Otra manera de mermar las pérdidas es capacitando al personal operativo acerca de los métodos de trabajo adecuado y la correcta operabilidad de la maquinaria para la producción, con el fin de que realicen un trabajo más eficiente, ya que cada puesto de trabajo es de máxima importancia para la reducción de pérdidas.

### **2.3.3. *Potencia del molino***

A partir de la delimitación de las variables de diseño pertinentes se direcciona el proceso de diseño, los criterios y recomendaciones de literatura técnica (Budyas, 2008a: pp.3-26), indican la importancia de traducir requerimientos de diseño en especificaciones, tal es el efecto del desarrollo de metodologías de diseño basadas en la traducción de los requerimientos de una máquina hacia el refinamiento de una especificación que se plasma en un diseño, particularmente para el caso de la potencia se la define a partir de la capacidad de trituración prevista para el prototipo es de 30 kg/h.

Es necesario obtener la densidad de los productos deshidratados para obtener el flujo volumétrico, variable con la cual se despliega el análisis de capacidad del molino pulverizador de productos deshidratados, con esta base referencial se plantea el diseño de cada uno de los componentes de la máquina en cuestión, desde la alimentación, el procesamiento hasta la descarga del material pulverizado.

### **2.3.4. *Densidad de la materia prima***

La densidad de los productos deshidratados se le obtiene de manera experimental, con tubos de ensayo para tomar varias muestras de productos ya triturados, al conocer que la estructura de los productos deshidratados se puede caracterizar por su densidad, se definen criterios de importancia ante esta y otras variables emergentes en el proceso, (Calín et al., 2020, pp.15-16), menciona que la importancia de las propiedades físicas de los productos deshidratados se puede medir al conocer el potencial de rehidratación de una muestra en términos de su densidad, es decir por la capacidad de un producto deshidratado de volver a su estado base al variar su densidad, por lo cual su influencia permite conocer de modo directo la calidad del producto a procesar y por lo tanto el diseño requerido por desarrollar.

Se inicia desde la fórmula de densidad que es:

$$D = \frac{m}{v}$$

Donde:

$$m = \text{masa}[kg]$$

$$v = \text{volumen}[cm^3]$$

A partir de lo cual se establecen diferentes parámetros de diseño complementarios como el flujo másico de producción que se valida en la etapa de pruebas dentro del proceso de diseño, además de ciertas particularidades de influencia en cierta variable.

### **2.3.5. Potencia teórica**

Para comenzar con el análisis de los parámetros que se requieren para el molino pulverizador, es necesario establecer un valor de potencia adecuado para el proceso de molienda que se pretende realizar mediante el diseño, para esto se emplea una potencia teórica, la cual es un parámetro de apertura con el cual podemos empezar a realizar varias consideraciones, para la configuración y los procesos a los que se encontrará sometido nuestro molino pulverizador, se establece la siguiente potencia teórica. (Budynas, 2008b: pp.346-457).

$$P_{requerida} = 2.5[HP]$$

### **2.3.6. Potencia requerida para el diseño**

Como se verá de manera detallada durante el diseño, es necesario que las potencias teóricas que se tienen durante el diseño se vean corregidas por parámetros de desempeño reales en función de la aplicación que se les dará a las máquinas que se someterán a estas potencias, este valor, denominado factor de carga, cubre varios factores que pueden incidir de manera significativa en el funcionamiento de la maquinaria, y favorecen al correcto funcionamiento del molino pulverizador durante todo el proceso de trituración, como valor inicial, se empleará un factor de carga de 1,1, con el cual podemos encontrar una potencia de diseño aproximada.

$$P_{diseño} = f_{carga} \cdot P_{requerida}$$

$$P_{diseño} = 1.1 \cdot 2.5 = 2.75[HP]$$

Durante el proceso de diseño estos valores se irán acercando cada vez más a valores reales, debido a que se considerarán de manera más detallada los parámetros de diseño que se requieren para el molino pulverizador, las potencias anteriores son los valores de partida, y un aproximado de las potencias que se esperan obtener una vez se realice el análisis correspondiente. (Budynas, 2008c: pp.346-457).

### **2.3.7. Ruido**

Según lo estipulado por la Organización Mundial de la Salud, se considera que un trabajador, operador o individuo padece una afección auditiva cuando su rango de umbral audible es inferior al de una persona con un sentido del oído normal y completamente sano, es decir que sea menor a 25 dB para ambos oídos, una de las causas más frecuentes es la exposición excesiva al ruido, ya sea de maquinarias ruidosas o de entornos de alto flujo de volumen de ruidos fuertes, como disparos o explosiones, la susceptibilidad prolongada a estos patrones pueden menoscabar el sentido de audición de los trabajadores. (Vásquez, 2021, pp.17-23).

Se debe garantizar que los niveles de ruido provenientes del molino pulverizador utilizado en el proceso de producción de polvo en la planta agroindustrial no sobrepasen los límites establecidos por la norma INEN ISO 1996-2 para la determinación por medición directa de los niveles de presión de ruido. (INEN ISO, 1996: p.7).

## **2.4. Aceros Inoxidables**

Entendemos por acero inoxidable a cualquier aleación conformada por carbono y hierro que contenga en su composición un porcentaje de al menos 11% de Cromo, este factor hace que su resistencia a ambientes corrosivos sea mayor que el resto de las aleaciones metalúrgicas, este porcentaje de cromo genera una cobertura superficial de óxido crómico en la parte superior del acero que favorece esta resistencia para varios factores nocivos, para mejorar esta característica, se puede acrecentar el porcentaje de Cromo en la aleación, o se pueden añadir otros elementos como molibdeno o níquel. (Avner, 1988, pp.365-372).

### **2.4.1. Clasificación de los aceros inoxidables**

En la industria, se pueden encontrar varios tipos de acero de tipo inoxidable, los cuales cambian sus características según su área de uso, pero la clasificación más adecuada para este tipo de aceros se encuentra condicionada por su microestructura de conformación, teniéndose tres grupos

simplificados de acero inoxidable, martensíticos, Ferríticos y Austeníticos. (Flinn y Trojan, 1991a: p.118).

#### *2.4.1.1. Aceros Inoxidables Martensíticos*

Los aceros inoxidables martensíticos son de manera simplificada, aceros con una aleación de Cromo y Carbono, y su principal diferencia con los aceros simples al Cromo, es que la presencia de Carbono aumenta de manera significativa sus propiedades de resistencia mecánica, así como su tenacidad y dureza superficial, mediante el proceso de templado martensítico que se realiza en su mayoría mediante un enfriamiento brusco en un fluido, normalmente aire, estos aceros normalmente solo pueden resistir los elementos corrosivos del ambiente, si se encuentran en un estado templado debido a la presencia de carbono en sus microestructuras. (Flinn y Trojan, 1991b: p.215).

#### *2.4.1.2. Aceros Inoxidables Ferríticos*

Se denominan aceros Inoxidables ferríticos, a los aceros cuya composición se encuentra únicamente conformada por Cromo, están conformados por ferrita en su mayoría en su microestructura, una forma fácil de distinguirlos es empleando su propiedad magnética, es decir que pueden ser atraídos por un imán, Debido a que este tipo de aceros tienen como mínimo un 11% de Cromo en su composición, a comparación con los otros aceros, tienen una resistencia a la corrosión mucho más reducida, por lo general son más accesibles en cuanto a costos, y no resisten ambientes muy agresivos ni corrosivos, se les suele llamar aceros inoxidables al agua, ya que es de los pocos medios corrosivos que pueden llegar a soportar en la práctica. (Flinn y Trojan, 1991c: p.234).

#### *2.4.1.3. Aceros Inoxidables Austeníticos*

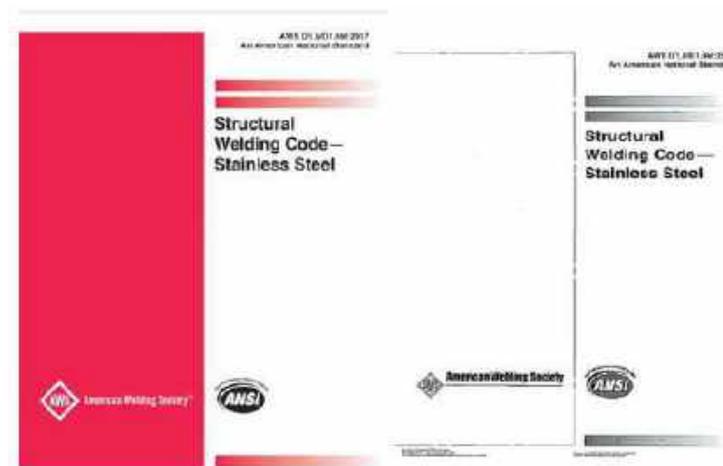
La diferencia más significativa de este tipo de aceros con los demás aceros inoxidables, es la presencia de níquel en su composición de aleación, este elemento produce varios cambios significativos en las propiedades que tienen este tipo de aceros, volviéndolos los más utilizados para propósitos industriales y semiindustriales, debido principalmente a su excelente comportamiento en ambientes difíciles en cuanto a efectos corrosivos, su capacidad de maquinado, su resistencia mecánica y otras características que los vuelven muy aplicables, incluso bajo condiciones de temperatura desfavorables. (Flinn y Trojan, 1991d: p.245).

De todos estos se destaca el Acero 304, el cual es el acero inoxidable más común tanto para aplicaciones domésticas como para industriales, así como para construcción y obras civiles.

#### **2.4.2. Procesos de Soldadura en Aceros Inoxidables**

Los aceros inoxidables son una clase de materiales ampliamente utilizados en la industria debido a su alta resistencia a la corrosión y al desgaste. En la soldadura de aceros inoxidables, es importante tener en cuenta que su contenido de cromo, níquel y molibdeno puede afectar la calidad de la junta. Para evitar la pérdida de estas propiedades, se utilizan técnicas de soldadura que minimizan la formación de zonas afectadas por el calor. Los procesos de soldadura por electrodo revestido SMAW son ampliamente utilizados para soldar aceros inoxidables. La calidad de la junta dependerá de la técnica de soldadura utilizada, la composición química del material y la habilidad del soldador. En general, la soldadura de aceros inoxidables es más difícil que la de aceros al carbono debido a la necesidad de controlar la formación de óxidos y la expansión térmica. (Folkhard, 2012, pp.197-222).

##### **2.4.2.1. Código de Soldadura Estructural en Acero Inoxidable AWS D1.6**



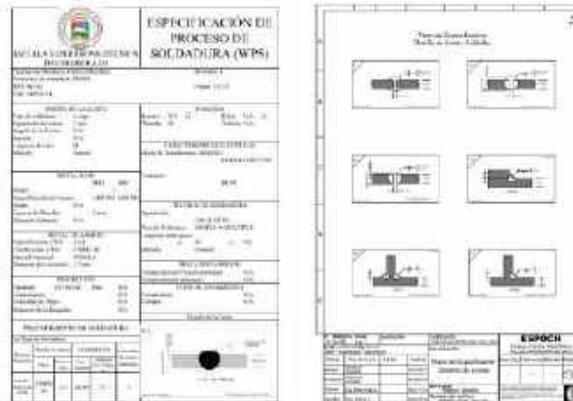
**Ilustración 9-2:** Código de Soldadura Estructural en Acero Inoxidable AWS D1.6

**Fuente:** (AWS D1.6, 2017: p.1)

La especificación de juntas de soldadura en aceros inoxidables se describe en la norma americana AWS D1.6. Esta norma proporciona orientación sobre el diseño, la fabricación y la inspección de juntas de soldadura en acero inoxidable. En particular, se establecen los requisitos para las juntas precalificadas, que son juntas de soldadura que han sido probadas y aprobadas por la norma. Dentro del régimen de trabajo con este código se establece el diseño de las juntas de soldadura y la posibilidad de uso de juntas precalificadas en las posiciones más comunes de soldadura, además del tipo de juntas, los parámetros de variables de soldadura se definen de manera accesible y

entendible, el uso de normativa garantiza una mejora en la calidad del producto final. (AWS D1.6, 2017a: pp.1-7)

#### 2.4.2.2. Especificación de Juntas de Soldadura



**Ilustración 10-2:** Especificación de Proceso de Soldadura-Plano de Detalle de Juntas Soldadas

**Fuente:** (AWS D1.6, 2017a: pp.23-26)

La calidad de las juntas de soldadura en aceros inoxidable es crítica ya que las discontinuidades en la unión pueden aumentar el riesgo de corrosión y reducir la resistencia mecánica de la estructura. En el proceso de soldadura por electrodo revestido, es importante seleccionar el tipo adecuado de electrodo para el acero inoxidable específico que se está soldando. Para soldar juntas precalificadas en aceros inoxidable, se debe seguir un procedimiento de soldadura calificado (WPS) que cumpla con los requisitos de la norma AWS D1.6. El WPS describe los parámetros de soldadura, el tipo de electrodo y los procedimientos de prueba y control de calidad necesarios para producir juntas de soldadura de alta calidad en aceros inoxidable, mientras que el plano de especificación muestra a detalle la forma y las notas a considerar de cada una de las juntas del ensamble. (AWS D1.6, 2017b: pp.23-26)

#### 2.4.2.3. Proceso de Soldadura SMAW

Uno de los procesos de soldadura más comunes en la industria es la soldadura por electrodo revestido. Este proceso se utiliza para soldar aceros inoxidable debido a su simplicidad y bajo costo. En la soldadura por electrodo revestido, el electrodo se recubre con un material que protege el baño de soldadura del aire y reduce la formación de óxidos. La calidad de la junta dependerá en gran medida de la habilidad del soldador para controlar la corriente de soldadura y la velocidad de avance. (Indura, 2007, pp.29-81)

Además, es importante tener en cuenta que la soldadura por electrodo revestido produce una alta cantidad de escoria, lo que puede afectar la calidad de la junta. En general, la soldadura por electrodo revestido es una técnica adecuada para la soldadura de aceros inoxidable de baja y media aleación, pero no es la mejor opción para materiales de alta aleación o para aplicaciones de alta calidad. Es ampliamente conocido el uso de este proceso en la construcción de bastidores, bancadas y estructuras de soporte en maquinaria alimenticia de uso industrial.

## CAPÍTULO III

### 3. MARCO METODOLÓGICO

#### 3.1. Metodología del diseño

Se empleará un análisis QFD con el objetivo de descubrir cual de todas las posibles configuraciones de diseño es la más factible para las condiciones de diseño que se tienen y con cual es as probable que se consiga un éxito comercial dentro del mercado industrial nacional.

#### 3.2. Definición del producto

##### 3.2.1. *Requerimientos del Cliente*

Para determinar los requerimientos del cliente, se optó por la encuesta a personal especializado como método de identificación de sus necesidades. La plantilla de datos del cliente resultante se ha agregado en la sección “Anexos” de este trabajo. Las necesidades identificadas a través de esta herramienta fueron:

- Fácil de usar
- Que se pueda transportar
- Que sea segura
- Que triture rápido
- Económica
- Que no tenga atascamientos
- Duradera
- Fácil de reparar
- Que no pese demasiado
- Que no produzca mucha vibración
- Que trabaje con grandes cantidades
- Repuestos de fácil acceso
- Que no contamine
- Producto final uniforme

### 3.2.2. Voz del usuario

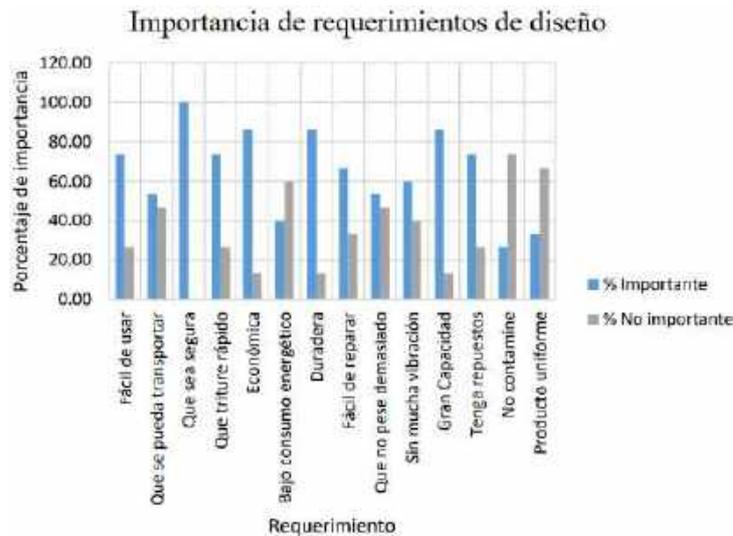
Con este precedente, la encuesta es una opción viable para determinar las necesidades más importantes (voz del usuario) que se incluye en la casa de la calidad. En esta encuesta se enlistaron los requerimientos obtenidos a través de la entrevista y se pidió catalogar cada uno en función a su importancia como se indica en la tabla 1.

**Tabla 1-3:** Resultados obtenidos de la encuesta preliminar de mercado

| N  | Característica             | Muy importante | Importante | Poco importante | Innecesario | % Importante | % No importante |
|----|----------------------------|----------------|------------|-----------------|-------------|--------------|-----------------|
| 1  | Fácil de usar              | 16             | 6          | 8               |             | 73,33        | 26,67           |
| 2  | Que se pueda transportar   | 2              | 14         | 8               | 6           | 53,33        | 46,67           |
| 3  | Segura                     | 22             | 8          |                 |             | 100,00       | 0,00            |
| 4  | Triture rápido             | 10             | 12         | 8               |             | 73,33        | 26,67           |
| 5  | Económica                  | 16             | 10         | 4               |             | 86,67        | 13,33           |
| 6  | Que no tenga atascamientos | 4              | 8          | 10              | 8           | 40,00        | 60,00           |
| 7  | Duradera                   | 8              | 10         | 4               |             | 86,67        | 13,33           |
| 8  | Fácil de reparar           | 6              | 14         | 6               | 4           | 66,67        | 33,33           |
| 9  | Que no pese demasiado      | 0              | 16         | 4               | 10          | 53,33        | 46,67           |
| 10 | Poca vibración             | 4              | 14         | 12              |             | 60,00        | 40,00           |
| 11 | Gran Capacidad             | 12             | 14         | 4               |             | 86,67        | 13,33           |
| 12 | Tenga repuestos            | 8              | 14         | 8               |             | 73,33        | 26,67           |
| 13 | No contamine               | 2              | 6          | 14              | 8           | 26,67        | 73,33           |
| 14 | Producto uniforme          | 4              | 6          | 16              | 4           | 33,33        | 66,67           |

Realizado por: (Salazar, M.; Varela, R. 2023)

De esta manera se lograron determinar los requerimientos cuya incidencia como “Muy importante” e “Importante” supera el 50% de todos los casos encuestados. Una perspectiva de esta selección se muestra en la Ilustración 1.



**Ilustración 1-3:** Importancia de los requerimientos del diseño  
**Realizado por:** (Salazar, M.; Varela, R. 2023)

Es así como tomando en consideración los porcentajes más altos de importancia se han escogido los requerimientos constituyentes de la voz del usuario para la casa de la calidad y en consecuencia se ha establecido el requerimiento técnico o voz del ingeniero como se muestra en la tabla.

**Tabla 2-3:** Parámetros más importantes para el requerimiento técnico

| Nº | Voz del usuario         | Voz del ingeniero          |
|----|-------------------------|----------------------------|
| 1  | Facilidad de uso        | Operabilidad               |
| 2  | Segura                  | Seguridad del usuario      |
| 3  | Que no pese demasiado   | Peso máximo                |
| 4  | Gran capacidad          | Capacidad de procesamiento |
| 5  | Sin mucha vibración     | Estabilidad                |
| 6  | Durabilidad             | Vida útil                  |
| 7  | Costo Accesible         | Costo máximo               |
| 8  | Facilidad de transporte | Portabilidad               |
| 9  | Fácil de reparar        | Mantenimiento              |
| 10 | Que triture rápido      | Potencia                   |

**Realizado por:** (Salazar, M.; Varela, R. 2023)

### 3.2.3. *Análisis de Competencias*

#### 3.2.3.1. *Xinxiang Chenwei Machinery*

Xinxiang Chenwei Machinery Co., Ltd, es una empresa especializada En el diseño y la construcción de máquinas para la trituración de harinas, bajo diferentes configuraciones, además de otros tipos de maquinaria industrial orientada a la industria alimenticia, dentro de su línea de

molienda presenta modelos muy competitivos, entre los que se destaca el siguiente pulverizador, con las siguientes características:

- Dimensiones: 50x70x140
- Peso: 150 Kg
- Potencia del motor: 2 HP
- Tipo de molienda: Molino de disco y pines
- Costo: 2500 \$
- Tamaño de alimentación: 15 mm
- Tamaño de malla: 1 mm
- Capacidad: 25 kg/h
- Procedencia: China

#### 3.2.3.2. *Interinox*

Para el caso del mercado nacional, podemos encontrar empresas como INTERINOX, una empresa dedicada al diseño y fabricación de equipos y proyectos para la industria, principalmente alimenticia con una amplia trayectoria operativa en las industrias ecuatorianas, poseen una gran línea de pulverizadores de polvos finos, de donde destacamos el siguiente modelo:

- Dimensiones: 150x70x230
- Peso: 250 kg
- Potencia del motor: 5 HP
- Tipo de molienda: Pulverizador
- Costo: 5500 \$
- Tamaño de alimentación: 90 mm
- Tamaño de malla: 0.8 mm
- Capacidad: 100 kg/h
- Procedencia: Ecuador

#### 3.2.3.3. *Evaluación de análisis de competencias*

**Tabla 3-3:** Comparación de Características de los competidores

| Marca | Xinxiang Chenwei | Interinox |
|-------|------------------|-----------|
|-------|------------------|-----------|

|                        |   |  |
|------------------------|---|--|
| Ilustración            |  |  |
| Dimensiones            | 50x70x140   | 150x70x230   |
| Peso                   | 150 kg  | 250 kg   |
| Potencia del Motor     | 2 HP  | 5 HP   |
| Tipo de Molienda       | Molino de disco y pines   | Pulverizador   |
| Costo                  | \$2500  | \$5500   |
| Tamaño de Alimentación | 15 mm   | 90 mm  |
| Tamaño de Malla        | 1 mm  | 0.8 mm   |
| Capacidad              | 25 kg/h   | 100 kg/h   |
| Procedencia            | China   | Ecuador  |

Realizado por: (Salazar, M.; Varela, R. 2023)

Cada equipo citado tiene diferentes características tanto en operatividad como en funcionalidad o ya sea en su facilidad de encontrar este producto en el mercado local, por lo que a continuación citaremos algunos aspectos generales recabados de los sitios web oficiales de las compañías que nos dará una idea general de las máquinas antes mencionadas:

**Tabla 4-3:** Resultados del análisis de competencias

|   | Facilidad de Importación   | Costo de máquina e implementación  | Mantenimiento y Repuestos   | Operabilidad   | Fiabilidad  |
|---|--|--|---|--|---|
| Xinxiang Chenwei Machiner y Co. (Modelo CW-UP-2200) | La empresa ofrece facilidades de importación a cualquier parte del mundo, a través de su | Esta maquinaria tiene un costo más accesible en relación con su competencia, pero la implementación corre a cargo del comprador al ser | A través del portal web se obtiene gran variedad de repuestos, y manuales, pero se dificulta debido a los costos de | Su operabilidad se facilita debido a que su manual viene en varios idiomas entre ellos | Según Xinxiang esta máquina se puede usar para materiales blandos y duros |

|                             |  |   |  |   |   |
|-----------------------------|--|---|--|---|---|
|                             | tienda en línea, con más de 100000 ventas exitosas bajo esta modalidad   | una máquina importada, con lo que su costo final aumenta considerablemente  | logística y envío de las partes.   | español e inglés.   | variando su eficiencia al cambiar la criba.   |
| INTERINOX (Modelo PPF-3800) | No existen problemas de importación, ya que es una empresa nacional, con agencias en varias ciudades del país. | Su costo de producción es similar al de la competencia, y la empresa acompaña el proceso de implementación, pero no se encuentra a cargo de este en su totalidad. | La mayoría de los repuestos se pueden adquirir directamente desde la empresa, con costos menores de logística, además de asesoría en cuanto a los mantenimientos del equipo. | Su operabilidad no se ve afectada debido a que es una máquina de funcionamiento simple. | Según INTERINOX esta máquina posee una alta eficiencia un mínimo desgaste mecánico produciendo así una alta productividad |

Realizado por: (Salazar, M.; Varela, R. 2023)

Como observamos en la tabla existen algunos aspectos que afectan a nuestro producto que no específicamente son la capacidad y funcionamiento por lo que estos factores también se deben analizar a la hora de tomar decisiones o mejorar diseños.

#### 3.2.4. Voz del ingeniero

En base al despliegue de la casa de la calidad analizado en la sección anterior, se ha determinado que las especificaciones técnicas del producto son:

**Tabla 55-3:** Especificaciones técnicas del producto

| Parámetro Técnico | Valor de Referencia |
|-------------------|---------------------|
| Peso máximo       | 100 – 200 kg        |

|                       |                       |
|-----------------------|-----------------------|
| Capacidad Objetivo    | 25 – 35 kg/h          |
| Vida útil             | 5 años                |
| Costo máximo          | \$2000 - \$2500       |
| Dimensiones generales | 100x100x150           |
| Potencia de Entrada   | 2 – 3 HP              |
| Operabilidad          | Control ON/OFF        |
| Estabilidad           | Soporte Base          |
| Seguridad             | Tolva de Alimentación |
| Montaje               | Fácil mantenimiento   |
| Mecanismo Transmisión | Sistema Polea-Correa  |
| Versatilidad          | Equipo portátil       |

**Realizado por:** (Salazar, M.; Varela, R. 2023)

### ***3.2.5. Desarrollo de la casa de la calidad***

#### ***3.2.5.1. Definición de las necesidades del cliente***

Las necesidades del cliente son los requerimientos más importantes determinados con anterioridad. Para el desarrollo de la casa de la calidad, se han clasificado las necesidades del cliente (voz del usuario) en tres categorías: Básico, Unidireccional y Estimulante como se muestra a continuación:

**Tabla 6-3:** Necesidades del usuario

| <b>N°</b> | <b>Voz del usuario</b>  | <b>Tipo de necesidad</b> |
|-----------|-------------------------|--------------------------|
| <b>1</b>  | Facilidad de uso        | Básico                   |
| <b>2</b>  | Segura                  | Básico                   |
| <b>3</b>  | Que no pese demasiado   | Unidireccional           |
| <b>4</b>  | Gran capacidad          | Estimulante              |
| <b>5</b>  | Sin mucha vibración     | Unidireccional           |
| <b>6</b>  | Durabilidad             | Estimulante              |
| <b>7</b>  | Costo Accesible         | Estimulante              |
| <b>8</b>  | Facilidad de transporte | Unidireccional           |
| <b>9</b>  | Fácil de reparar        | Unidireccional           |
| <b>10</b> | Que triture rápido      | Estimulante              |

**Realizado por:** (Salazar, M.; Varela, R. 2023)

### 3.2.5.2. Índice de mejora

Este análisis depende de factores como: importancia de la necesidad, calificación del producto propio, calificación objetivo, índice de mejora y factor de venta para poder obtener una ponderación que represente numéricamente las necesidades más destacadas.

En cuando a la importancia de la necesidad, se han utilizado los porcentajes resultantes de las encuestas, de tal manera que la necesidad más puntuada como importante tiene una calificación de 5 y la menos importante de 1. Para la calificación del producto propio, al tratarse de un producto que aún no se ha desarrollado, se debe asignar una calificación de 1 en cada una de las necesidades de los clientes puesto que aún no se sabe con qué eficacia el producto propio abordará cada necesidad. (ReVelle et al., 1998, pp.41-193).

La puntuación objetivo para cada necesidad se ha estimado en base a las especificaciones de los dos principales competidores en diseño de trituradoras, Xinxiang Chenwei Machinery Co. y de INTERINOX

El índice de mejora se puede estimar como:

$$I = \frac{O}{A}$$

Dónde:

*I*: Índice de mejora

*O*: Calificación Objetivo

*A*: Calificación actual (propia empresa)

El factor de venta depende de la importancia de la necesidad del cliente y afecta de manera proporcional a la ponderación de dicha necesidad. En este proyecto se han considerado los siguientes valores para el factor de venta: (Teminko, 1997, pp.145-157)

**Tabla 7-3:** Factor de venta

| Factor de venta | Valor |
|-----------------|-------|
| <b>Fuerte</b>   | 1,5   |
| <b>Posible</b>  | 1,2   |
| <b>Ninguno</b>  | 1     |

Realizado por: (Salazar, M.; Varela, R. 2023)

La ponderación se puede calcular mediante la expresión:

$$P = M.I.F$$

Dónde:

P: Ponderación

I: Importancia

F: Factor de venta

Los resultados obtenidos del análisis de competitividad se resumen en la siguiente tabla. Donde es evidenciable que las necesidades: facilidad de uso, seguridad, gran capacidad, durabilidad y costo accesible son las que tienen una mayor calificación ponderada. Por lo tanto, el diseño planeado deberá enfocarse en satisfacer estas necesidades. (Bossert, 2021 pp.39-45)

**Tabla 8-3:** Importancia de las necesidades del cliente

|                         | Tipo de necesidad | Importancia | Propio diseño | CW-UP-2200 | INTERINOX PPF-3800 | Objetivo | Índice de mejora | Factor de venta | Ponderación |
|-------------------------|-------------------|-------------|---------------|------------|--------------------|----------|------------------|-----------------|-------------|
| Facilidad de uso        | B                 | 5           | 1             | 4          | 3                  | 4        | 4                | 1,2             | 24          |
| Segura                  | B                 | 4           | 1             | 3          | 2                  | 3        | 3                | 1,2             | 14,4        |
| Que no pese demasiado   | U                 | 2           | 1             | 1          | 2                  | 2        | 2                | 1               | 4           |
| Gran capacidad          | E                 | 3           | 1             | 3          | 3                  | 3        | 3                | 1,2             | 10,8        |
| Sin mucha vibración     | U                 | 1           | 1             | 2          | 3                  | 2        | 2                | 1               | 2           |
| Durabilidad             | E                 | 4           | 1             | 4          | 4                  | 3        | 3                | 1               | 12          |
| Costo Accesible         | E                 | 5           | 1             | 4          | 4                  | 3        | 3                | 1,5             | 22,5        |
| Facilidad de transporte | U                 | 2           | 1             | 2          | 2                  | 2        | 2                | 1               | 4           |
| Fácil de reparar        | U                 | 3           | 1             | 2          | 1                  | 2        | 2                | 1               | 6           |
| Que triture rápido      | E                 | 1           | 1             | 3          | 3                  | 3        | 3                | 1,2             | 3,6         |

**Realizado por:** (Salazar, M.; Varela, R. 2023)

**Nota:** El tipo de necesidad equivale B = básico, U = unidireccional, E = estimulante

### 3.2.5.3. Requerimientos técnicos

Los requerimientos técnicos se pueden interpretar como las necesidades del usuario traducidas a lenguaje técnico también conocido como voz ingenieril.

**Tabla 9-3:** Requerimientos técnicos del producto

| <i>N°</i> | <b>Voz del usuario</b>  | <b>Voz del ingeniero</b>   |
|-----------|-------------------------|----------------------------|
| <b>1</b>  | Facilidad de uso        | Operabilidad               |
| <b>2</b>  | Segura                  | Seguridad del usuario      |
| <b>3</b>  | Que no pese demasiado   | Peso máximo                |
| <b>4</b>  | Gran capacidad          | Capacidad de procesamiento |
| <b>5</b>  | Sin mucha vibración     | Costo máximo               |
| <b>6</b>  | Durabilidad             | Vida útil                  |
| <b>7</b>  | Costo Accesible         | Costo máximo               |
| <b>8</b>  | Facilidad de transporte | Portabilidad               |
| <b>9</b>  | Fácil de reparar        | Mantenimiento              |
| <b>10</b> | Que triture rápido      | Potencia                   |

**Realizado por:** (Salazar, M.; Varela, R. 2023)

#### **3.2.5.4. Correlaciones**

Con el fin de determinar las capacidades de cada característica técnica para satisfacer las necesidades del cliente se establece una relación entre dos parámetros con un factor de incidencia que va de bajo a fuerte como se muestra en la siguiente tabla. (Teminko, 1997, pp.145-157)

**Tabla 10-3:** Correlación entre los parámetros

| ● Fuerte - 9<br>○ Medio-3<br>▼ Bajo-1<br><br>Voz del Usuario | Voz del Ingeniero | Operabilidad | Seguridad del usuario | Peso Máximo | Cap. Procesamiento | Estabilidad | Vida útil | Costo Máximo | Portabilidad | Mantenimiento | Potencia |
|--|-------------------|--------------|-----------------------|-------------|--------------------|-------------|-----------|--------------|--------------|---------------|----------|
|  | Facilidad de uso  | B            | ●                     | ●           |                    |             | ○         |              |              |               |          |
| Segura   | B                 | ○            | ●                     | ●           |                    | ○           | ▼         | ●            |              | ▼             |          |
| Que no pese demasiado  | O                 |              | ●                     | ●           |                    |             |           | ○            |              | ▼             |          |
| Gran capacidad   | E                 | ○            | ▼                     |             | ●                  | ○           |           | ●            | ○            | ▼             | ●        |
| Sin mucha vibración  | O                 |              | ●                     | ▼           | ○                  | ●           | ○         | ○            |              | ●             | ○        |
| Durabilidad  | E                 |              |                       |             | ○                  | ○           | ●         | ▼            |              | ○             |          |
| Costo Accesible  | E                 |              | ○                     |             | ●                  | ▼           | ▼         | ●            | ○            | ○             | ●        |
| Facilidad de transporte                                      | O                 |              |                       |             | ○                  | ▼           |           |              | ●            |               |          |
| Fácil de reparar   | O                 |              |                       |             |                    |             |           | ○            |              | ●             |          |
| Que triture rápido   | E                 |              |                       | ▼           |                    | ○           |           | ●            |              |               | ●        |

Realizado por: (Salazar, M.; Varela, R. 2023)

### 3.2.5.5. Evaluación Técnica

Permite determinar la incidencia de la correlación establecida entre la voz del usuario y los parámetros técnicos y la ponderación calculada (Bossert, 2021 pp.39-45). Para ello, se utiliza la expresión:

$$Ic = \sum C.P$$

Dónde:

*Ic*: Incidencia

*C*: Correlación

*P*: Ponderación

Los resultados obtenidos para cada especificación técnica se muestran en la siguiente tabla

**Tabla 11-3:** Resultados para cada especificación técnica

|                    |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |              |
|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------------|
| Diseño propio      | 4     | 3     | 2     | 3     | 3     | 4     | 4     | 2     | 3     | 3     | <b>TOTAL</b> |
| CW-UP-2200         | 3     | 3     | 2     | 3     | 3     | 4     | 4     | 2     | 2     | 3     |              |
| INTERINOX PPF-3800 | 3     | 2     | 2     | 3     | 3     | 4     | 3     | 2     | 1     | 2     |              |
| Incidencia         | 291,6 | 477,9 | 171,2 | 353,7 | 238,9 | 162,9 | 509,7 | 135,9 | 204,7 | 338,1 | 2884,6       |
| Incidencia (%)     | 10,1  | 16,6  | 5,9   | 12,3  | 8,3   | 5,6   | 17,7  | 4,7   | 7,1   | 11,7  | <b>100</b>   |

|                         |                |                             |               |                  |                        |        |                         |                                       |                    |          |
|-------------------------|----------------|-----------------------------|---------------|------------------|------------------------|--------|-------------------------|---------------------------------------|--------------------|----------|
| <b>ESPECIFICACIONES</b> | Control ON/OFF | Tolva segura (alimentación) | 100 Kg-200 Kg | 25 Kg/h -35 Kg/h | Soporte (Base) Estable | 5 Años | \$2 000,00 - \$2 500,00 | Dimensiones menores a 2,5 m (l, a, h) | Fácil de desmontar | 2 HP-3HP |
|-------------------------|----------------|-----------------------------|---------------|------------------|------------------------|--------|-------------------------|---------------------------------------|--------------------|----------|

Realizado por: (Salazar, M.; Varela, R. 2023)

Los valores más altos de incidencia representan las especificaciones que se deben procurar lograr. En consecuencia, se asigna un valor a cada una.

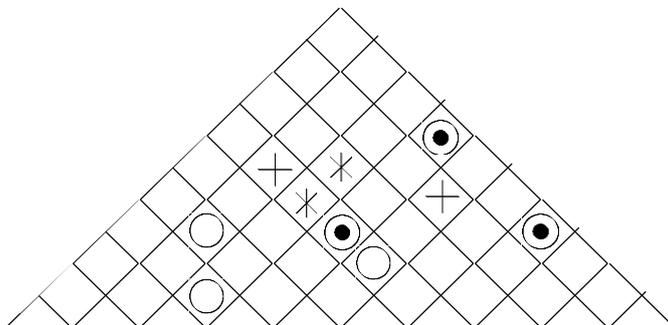
### 3.2.5.6. Compromisos técnicos

Para determinar los compromisos entre las características técnicas de un producto, comúnmente se tienen tres casos de referencia:

- Correlación positiva: determina que al aumentar el nivel de una característica la característica correlacionada también aumenta.
- Correlación negativa: determina que al aumentar el nivel de una característica la característica correlacionada decrementa proporcionalmente.
- Indiferente: no existe correlación entre las características de estudio. (ReVelle et al., 1998, pp.41-193).

Se ha establecido una relación de dependencia entre estas como se muestra en la siguiente tabla:

**Tabla 12-3:** Relación de dependencia entre los parámetros



|    |              |
|----|--------------|
|    | Muy positiva |
| ●  | Positiva     |
| ○  | Negativa     |
| *+ | Muy negativa |

|                       |
|-----------------------|
| Operabilidad          |
| Seguridad del usuario |
| Peso Máximo           |
| Cap. Procesamiento    |
| Estabilidad           |
| Vida útil             |
| Costo Máximo          |
| Portabilidad          |
| Mantenimiento         |
| Potencia              |

**Realizado por:** (Salazar, M.; Varela, R. 2023)

De esta manera, la casa de la calidad queda completamente definida

**Tabla 13-3: Casa de la calidad**

| VOZ DEL USUARIO         | VOZ DEL INGENIERO | Tipo de necesidad | Operabilidad | Seguridad del usuario | Peso Máximo | Cap. Procesamiento | Estabilidad | Vida útil | Costo Máximo | Portabilidad | Mantenimiento | Potencia | Evaluación Cliente |               |              |                    |          |                  |                 |             |                 |
|-------------------------|-------------------|-------------------|--------------|-----------------------|-------------|--------------------|-------------|-----------|--------------|--------------|---------------|----------|--------------------|---------------|--------------|--------------------|----------|------------------|-----------------|-------------|-----------------|
|                         |                   |                   |              |                       |             |                    |             |           |              |              |               |          | Importancia        | Propio diseño | CW-UP-220007 | INTERINOX PPF-3800 | Objetivo | Índice de mejora | Factor de venta | Ponderación | Ponderación (%) |
|                         |                   |                   |              |                       |             |                    |             |           |              |              |               |          | A                  | B             | C            | D                  | E        | F                | G               | H           | I               |
| Facilidad de uso        | B                 | ●                 | ●            |                       |             | ○                  |             |           |              |              |               |          | 5                  | 1             | 4            | 3                  | 4        | 4                | 1,2             | 24          | 23,2            |
| Segura                  | B                 | ○                 | ●            | ●                     |             | ○                  | ▽           | ●         |              | ▽            |               |          | 4                  | 1             | 3            | 2                  | 3        | 3                | 1,2             | 14,4        | 13,9            |
| Que no pese demasiado   | U                 |                   | ●            | ●                     |             |                    |             | ○         |              | ▽            |               |          | 2                  | 1             | 1            | 2                  | 2        | 2                | 1               | 4           | 3,9             |
| Gran capacidad          | E                 | ○                 | ▽            |                       | ●           | ○                  |             | ●         | ○            | ▽            | ●             |          | 3                  | 1             | 3            | 3                  | 3        | 3                | 1,2             | 10,8        | 10,5            |
| Sin mucha vibración     | U                 |                   | ●            | ▽                     | ○           | ●                  | ○           | ○         |              | ●            | ○             |          | 1                  | 1             | 2            | 3                  | 2        | 2                | 1               | 2           | 1,9             |
| Durabilidad             | E                 |                   |              |                       | ○           | ○                  | ●           | ▽         |              | ○            |               |          | 4                  | 1             | 4            | 4                  | 3        | 3                | 1               | 12          | 11,6            |
| Costo Accesible         | E                 |                   | ○            |                       | ●           | ▽                  | ▽           | ●         | ○            | ○            | ●             |          | 5                  | 1             | 4            | 4                  | 3        | 3                | 1,5             | 22,5        | 21,8            |
| Facilidad de transporte | U                 |                   |              |                       | ○           | ▽                  |             |           | ●            |              |               |          | 2                  | 1             | 2            | 2                  | 2        | 2                | 1               | 4           | 3,9             |
| Fácil de reparar        | U                 |                   |              |                       |             |                    |             | ○         |              | ●            |               |          | 3                  | 1             | 2            | 1                  | 2        | 2                | 1               | 6           | 5,8             |
| Que triture rápido      | E                 |                   |              | ▽                     |             | ○                  |             | ●         |              |              | ●             |          | 1                  | 1             | 3            | 3                  | 3        | 3                | 1,2             | 3,6         | 3,5             |
| <b>TOTAL</b>            |                   |                   |              |                       |             |                    |             |           |              |              |               |          |                    |               |              |                    | 103,3    | 100,0            |                 |             |                 |

|                         |                |                             |               |                  |                        |        |                         |                                       |                    |          |              |
|-------------------------|----------------|-----------------------------|---------------|------------------|------------------------|--------|-------------------------|---------------------------------------|--------------------|----------|--------------|
| Diseño propio           | 4              | 3                           | 2             | 3                | 3                      | 4      | 4                       | 2                                     | 3                  | 3        | <b>TOTAL</b> |
| CW-UP-2200              | 3              | 3                           | 2             | 3                | 3                      | 4      | 4                       | 2                                     | 2                  | 3        |              |
| INTERINOX PPF-3800      | 3              | 2                           | 2             | 3                | 3                      | 4      | 3                       | 2                                     | 1                  | 2        |              |
| Incidencia              | 291,6          | 477,9                       | 171,2         | 353,7            | 238,9                  | 162,9  | 509,7                   | 135,9                                 | 204,7              | 338,1    | 2884,6       |
| Incidencia (%)          | 10,1           | 16,6                        | 5,9           | 12,3             | 8,3                    | 5,6    | 17,7                    | 4,7                                   | 7,1                | 11,7     | <b>100</b>   |
| <b>ESPECIFICACIONES</b> | Control ON/OFF | Tolva segura (alimentación) | 100 Kg-200 Kg | 25 Kg/h -35 Kg/h | Soporte (Base) Estable | 5 Años | \$2 000,00 - \$2 500,00 | Dimensiones menores a 2,5 m (l, a, h) | Fácil de desmontar | 2 HP-3HP |              |

Realizado por: (Salazar, M.; Varela, R. 2023)

### 3.2.5.8. Especificaciones técnicas

**Operabilidad:** El equipo debe ser fácil de operar en este caso la trituradora que se hará no es industrial por tal motivo el equipo debe tener un botón de encendido y apagado para que cualquier persona pueda encenderla. Hay que tener en cuenta que los botones deben estar en una ubicación segura para el usuario. (Fitzpatrick y Ahmé, 2005, p.212)



**Ilustración 2-3:** Operabilidad en equipos de molienda

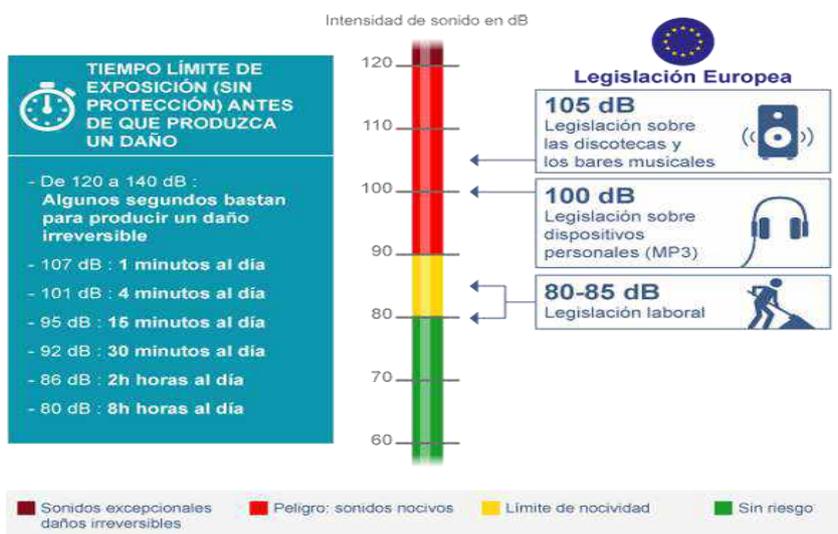
**Fuente:** (Fitzpatrick y Ahmé, 2005, p.212)

**Seguridad del Usuario:** Un pulverizador, al ser una máquina de que tiende actuar de manera brusca, debe estar adecuadamente protegida para evitar accidentes como remordimientos de las manos, atascados de ropa, pérdidas de dedos, manos o en el peor de los casos con una vida. Por tal motivo se realizará una tolva segura en donde el usuario pueda insertar el material a pulverizar desde una distancia segura sin intervención de las manos cerca del proceso de molienda. (Freire y Lalbay, 2022b: p.21).



**Ilustración 3-3:** Tolva segura para molienda  
**Fuente:** (Freire y Lalbay, 2022b: p.21)

Los expertos consideran que 85 decibelios (dB) durante un máximo de 8 horas es el nivel máximo de exposición sin riesgos que el ser humano puede asumir. El espacio de tiempo admisible disminuye a medida que la intensidad del sonido aumenta. (INEN ISO, 1996, p.8)



**Ilustración 4-3:** Tiempo límite de exposición a altas intensidades de sonido

**Fuente:** (INEN ISO, 1996, p.8)

**Peso máximo:** El peso debe ser considerable ya que este tendrá que ver con el transporte de la trituradora, pero hay que tener en cuenta que el peso también va a depender de la capacidad de procesamiento de la trituradora es decir se quiere procesar más volumen tendrá mayores

dimensiones y esto conlleva a un mayor peso, en este caso todo dependerá de las especificaciones de producción que desea el cliente. (Fellows, 2000, p.115)

**Tabla 14-3:** Peso máximo según modelo de producción

| Model | Capacit y (kg/h) | Speed (rpm) | Feed size(mm) | Crus h size (mm) | Weight (kg) | Power (kw) |
|-------|------------------|-------------|---------------|------------------|-------------|------------|
| 20B   | 20-150           | 4500        | 6             | 12-120           | 95          | 1          |
| 30B   | 30-300           | 3800        | 10            | 12-120           | 100         | 1.5        |
| 40B   | 40-400           | 3400        | 12            | 12-120           | 110         | 2          |
| 50B   | 80-500           | 2900        | 12            | 12-120           | 125         | 2.5        |
| 60B   | 100-600          | 2400        | 15            | 12-120           | 150         | 3          |
| 80B   | 200-1000         | 2200        | 15            | 12-120           | 300         | 5          |

Fuente: (Fellows, 2000, p.115)

**Capacidad de procesamiento:** Basándonos en catálogos de pulverizadores de vegetales deshidratados podemos concluir que la capacidad depende mucho del tamaño y potencia que tenga la cámara de triturado por tal motivo es necesario hacer un cálculo en donde se relacione las dimensiones con la capacidad de procesamiento objetivo de 30kg/h, potencia y dimensiones (menores a 2 m en largo, ancho y altura). (Baudelaire, 2013 p.215).

**Estabilidad:** Al ser una máquina que genera mucha vibración se debe realizar un diseño donde se trate de disminuir lo más posible las vibraciones, ya que estas al realizar esfuerzos sumamente bruscos y al trabajar con diferentes materiales tienden a generar esfuerzos peligrosos en sus componentes por tal motivo el diseño debe ser capaz de soportar los esfuerzos y mantenerse estable. (Barbosa et al., 2005, p.56).

**Vida útil:** Es necesario realizar un buen diseño tomando como factor importante la vibración ya que ella es la principal causa de que se desgasten y dañen los componentes en su totalidad por lo tanto se estima una garantía de 3 a 5 años, pero hay que tener en cuenta que los pulverizadores de alimentos tienen muchos factores que favorecen a su diseño, entre estos tenemos. (Nitrigual, 2010, p.31).

- Diseño de alta resistencia del elemento percutor y las pruebas rigurosas para garantizar su calidad.

- El acero inoxidable de grado alimenticio garantiza una protección al contacto con el material pulverizado y garantiza protección al ambiente por su capa oxidante.
- El mal mantenimiento del motor puede ocasionar que se reduzcan considerablemente sus horas de trabajo antes de su vida útil óptima.
- Es estable y confiable.

**Costo máximo:** Hoy en día existen pulverizadores de alimentos ofertados en el mercado de precios elevados debido a costos de manufactura, normativa de diseño y seguridad ya que en ellas se encuentran contemplados sistemas de seguridad, sistemas hidráulicos y componentes que ayudan a un mejor rendimiento de esta aumentado su eficiencia, teniendo mucho más control de su granulometría y teniendo más amplitud de trabajo con diferentes materiales por triturar. Lo que se plantea en esta investigación y diseño es llegar a un costo accesible, satisfacer las necesidades del cliente, realizar un diseño innovador y trabajar con materiales aptos para la industria alimentaria por estas razones se estimó un costo máximo de entre \$2 000.00 y \$2 500.00.

**Portabilidad:** Para el caso de un pulverizador, la portabilidad está estrechamente relacionada con sus dimensiones y peso, se requiere que este no sea excesivamente esbelto, para lograr un transporte más sencillo, y que su peso permita un manejo más sencillo si se requiere un cambio de ubicación dentro de las instalaciones en que se encuentre operando. (Barbosa et al., 2005, p.65).

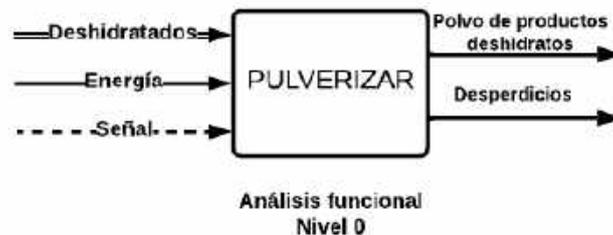
**Mantenimiento:** Un trabajo de mantenimiento correctivo de un pulverizador suele suceder dentro de la cámara de trituración debido al impacto de metal con el material particulado no especificado, y puede conducir a picaduras y/o fracturas en elementos del componente percutado. De modo paralelo, el ruido que es producido por pines de trituración con las barras del componente percutado genera concentradores y principios de falla en la estructura del equipo. (Barbosa et al., 2005, p.76).

**Potencia:** Dependiendo del material a pulverizar y de la capacidad de producción que se requiera, se trabajará con cierta potencia, en este caso, se trabajará con materiales no muy duros, por lo cual no se requiere de una potencia elevada, pero se necesita una producción considerable, por lo que lo más adecuado para estos requerimientos es una potencia de 3HP, con el cual el material va a ser triturado con gran facilidad, y se puede alcanzar la capacidad de producción que se desea para el pulverizador. (Bhandari et al., 2013, p.71).

### 3.3. Diseño Conceptual

#### 3.3.1. Análisis funcional

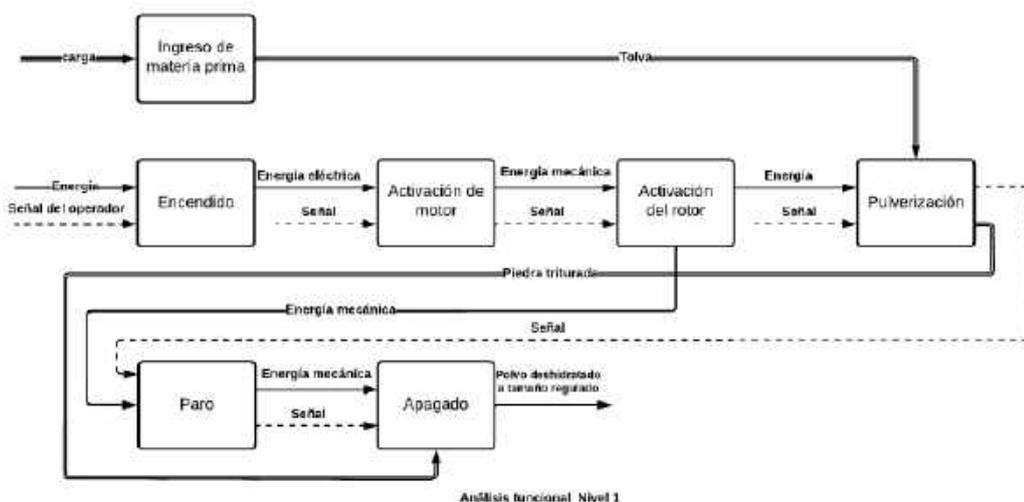
##### 3.3.1.1. Estructura funcional nivel 0



**Ilustración 5-3:** Estructura funcional nivel 0  
Realizado por: (Salazar, M.; Varela, R. 2023)

La función principal de nuestra máquina va a ser pulverizar productos deshidratados para lo cual deberá ingresar la materia prima que serán alimentos deshidratados de hasta 11% de humedad, la energía eléctrica que será la que mueve nuestra máquina además de la señal del operador que pondrá en marcha nuestra máquina. Dando como resultado el polvo de productos deshidratados en el tamaño deseado que será nuestro producto final, así como también los desperdicios del proceso.

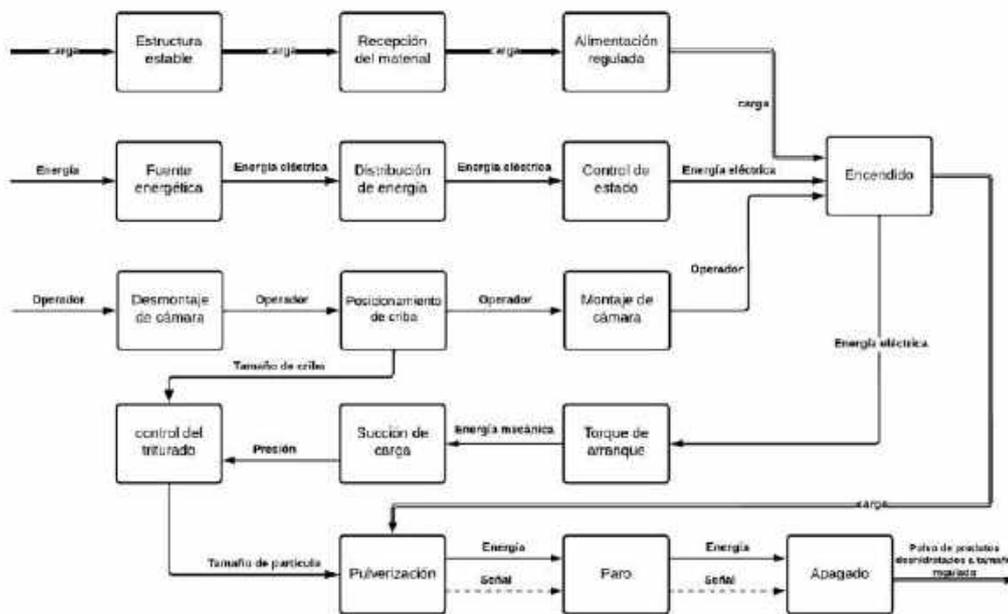
##### 3.3.1.2. Estructura funcional nivel 1



**Ilustración 6-3:** Estructura funcional nivel 1  
Realizado por: (Salazar, M.; Varela, R. 2023)

En este nivel podemos observar con un poco más de detalle cómo funcionará nuestro equipo, ya que a través de la señal del operador se energiza el motor con lo cual se activa el rotor para realizar el proceso de pulverización previamente regulado con la criba para conseguir nuestro producto final, que será el polvo de productos deshidratados al tamaño deseado por el operador.

### 3.3.1.3. Estructura funcional nivel 2

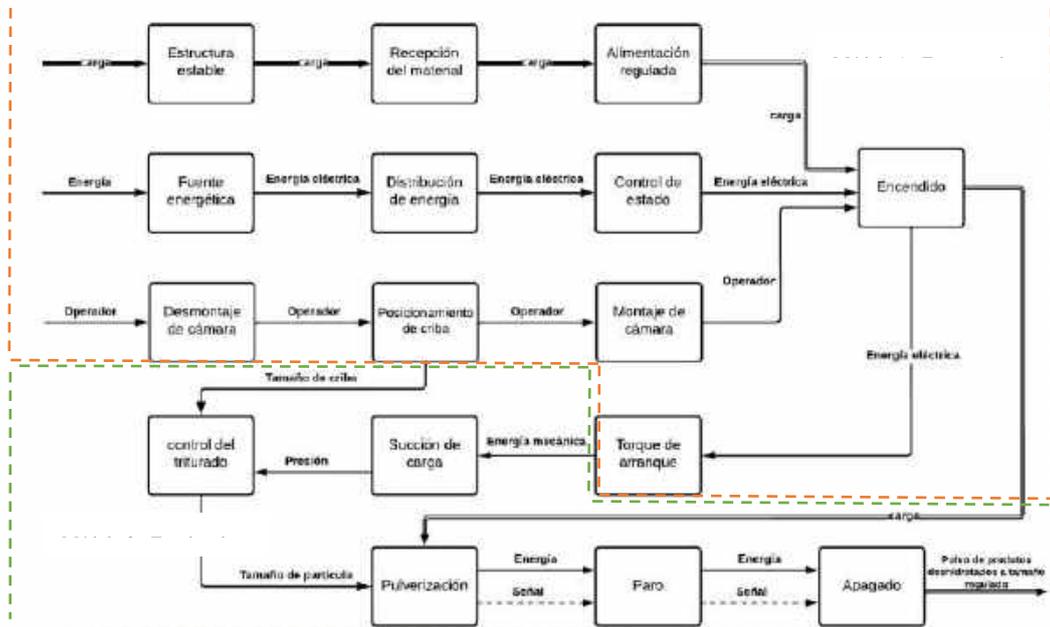


**Ilustración 7-3:** Estructura funcional nivel 2  
Realizado por: (Salazar, M.; Varela, R. 2023)

Ahora podemos analizar más a profundidad nuestros procesos la cual va desde el encendido para lo cual ya debe estar cargado previamente la materia prima la cual pasará por un filtro de seguridad y la señal eléctrica deberá pasar por su respectiva distribución en la red, así como también por el control eléctrico que esta máquina requiera para evitar sobrecargas. Una vez recibidas estas señales se arrancará el motor el cual también tendrá su sistema de control, lo que a su vez también pondrá en marcha el actuador como el percutor, lo cual en conjunto con la elección del tamaño de la piedra nos dará como resultado nuestro producto final que con el análisis de este nivel queda un proceso bien establecido.

### 3.3.2. Análisis modular

#### 3.3.2.1. Estructura funcional de identificación



**Ilustración 8-3:** Identificación de módulos

Realizado por: (Salazar, M.; Varela, R. 2023)

Analizando nuestra máquina como lo dijimos anteriormente identificamos 2 módulos uno estructural y uno funcional los cuales tendrán sus respectivos componentes, así como también las diferentes alternativas de solución así tendremos las matrices morfológicas para cada módulo que me permita encontrar soluciones viables a la problemática.

3.3.2.2. Estructura funcional módulo 1 (Módulo estructural)

**Tabla 14-3:** Niveles del módulo funcional

| Función                  | Componentes            |                        |                           |
|--------------------------|------------------------|------------------------|---------------------------|
| Estructura Estable       | Armazón con contrapeso | Refuerzos de soldadura | Anclaje de base empernada |
| Recepción de Material    | Tolva de un acceso     | Tolva de dos accesos   | Tolva giratoria           |
| Alimentación Regulada    | Tolva curva            |                        | Tolva recta               |
| Fuente energética        | Toma de corriente      |                        | Generador                 |
| Distribución de energía  | Armario                | Caja de Breakers       | Directa                   |
| Desmontaje de cámara     | Manual                 |                        | Automático                |
| Posicionamiento de Criba | Manual                 |                        |                           |
| Montaje de Cámara        | Manual                 |                        | Automático                |
| Encendido                | Perilla ON-OFF         | Interruptor ON-OFF     | Llave de Seguridad        |
| Torque de Arranque       | Banda Polea            | Acople directo         | Piñón Cadena              |

Realizado por: (Salazar, M.; Varela, R. 2023)

La matriz morfológica del módulo 1 en la función de estructura estable puede tener varias alternativas como puede ser armazón con contrapesos para evitar que la estructura vibre demasiado y producir fallas en los elementos por resonancia otra de las alternativas puede ser aplicar refuerzos por soldadura y también puede ser anclaje por base empernada todo esto dependiendo de la estabilidad que requiera la máquina.

Para la recepción del material se puede tener una tolva de uno o dos accesos incluso si se requiere un descenso controlado se puede optar por una tolva giratoria.

En cuanto al módulo de alimentación regulada se puede optar por un diseño de tolva curva o tolva recta para el material sin embargo esto dependerá de la vida útil, costo y mantenimiento.

La función de encendido puede ser por una toma de corriente, generador o por un motor de combustión, esta selección puede depender de las necesidades o requerimientos del usuario Para distribuir la energía se puede considerar la opción de incorporar un armario o una caja de breakers para mayor seguridad o por corriente directa.

El encendido puede ser por interruptor, perilla o llave de seguridad.

El indicador de la maquina puede ser por pantalla o por indicador LED sin embargo esto dependerá de la operabilidad de la maquina y de cuan funcional quiere el usuario que la maquina sea.

La función más importante es la del tipo de torque de arranque para transmitir potencia en la máquina los cuales pueden ser banda polea, acople directo o cadena catalina.

### 3.3.2.3. Estructura funcional módulo 2 (Módulo funcional)

**Tabla 15-3:** Niveles del módulo funcional

| Función               | Componentes      |                    |                             |                  |
|-----------------------|------------------|--------------------|-----------------------------|------------------|
| Succión de carga      | Natural          |                    | Forzada                     |                  |
| Control del triturado | Criba uniforme   | Tamiz              |                             | Criba con patrón |
| Pulverización         | Martillos        | Cuchillas          | Bolas                       | Rodillos         |
| Paro                  | Limitador de par |                    | Botón de paro de emergencia |                  |
| Apagado               | Perilla ON-OFF   | Interruptor ON-OFF | Llave de seguridad          |                  |

Realizado por: (Salazar, M.; Varela, R. 2023)

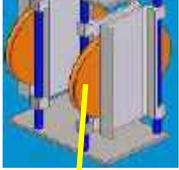
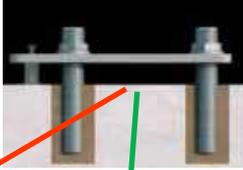
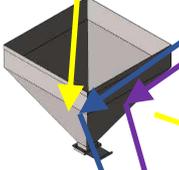
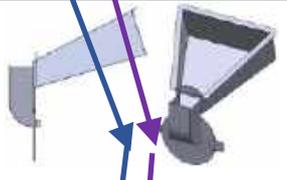
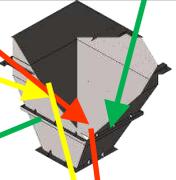
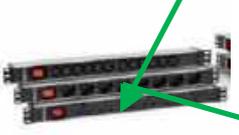
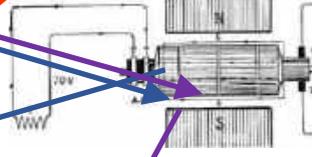
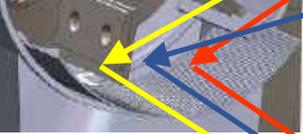
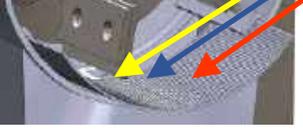
La matriz morfológica del módulo 2 corresponde al control de la máquina. Para el módulo de succión de carga puede ser por natural o forzada. En el control del triturado puede ser criba uniforme, tamiz o criba con patrón. En cuanto al módulo de pulverización va a depender

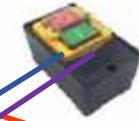
del elemento tanto en tamaño, material y calidad. La función de Paro puede ser accionado por un limitador de par o por un botón de emergencia y por último el apagado puede ser por perilla, interruptor o por llave de seguridad.

### 3.3.3. Matriz morfológica

#### 3.3.3.1. Estructura funcional módulo 1 (Módulo estructural)

**Tabla 16-3:** Niveles del módulo estructural

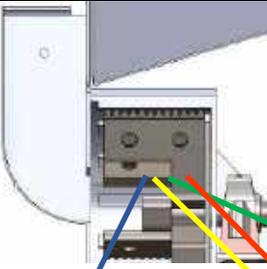
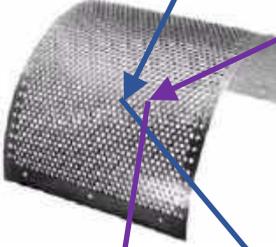
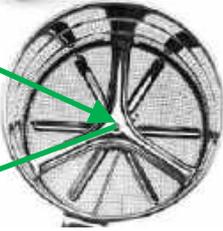
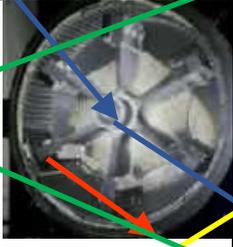
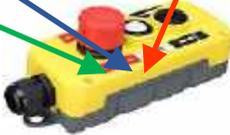
| Función                  | Componentes  |   |   |
|--------------------------|--|---|---|
| Estructura Estable       |     |     |    |
| Recepción de Material    |    |    |   |
| Alimentación Regulada    |   |   |  |
| Fuente energética        |   |  |  |
| Distribución de energía  |   |   |  |
| Desmontaje de cámara     |   |   |  |
| Posicionamiento de Criba |  |   |   |
| Montaje de Cámara        |   |   |  |

|                    |   |  |   |
|--------------------|---|--|---|
| Encendido          |  |  |  |
| Torque de Arranque |  |  |  |

Realizado por: (Salazar, M.; Varela, R. 2023)

### 3.3.3.2. Estructura funcional módulo 2 (Módulo estructural)

**Tabla 17-3:** Módulo 2 del módulo estructural

| Función               | Componentes   |  |   |   |
|-----------------------|---|--|---|---|
| Succión de carga      |   |  |   |   |
| Control del triturado |  |  |  |   |
| Pulverización         |  |   |   |  |
| Paro                  |  |  |  |   |



Realizado por: (Salazar, M.; Varela, R. 2023)

### 3.3.4. Generación de alternativas

**Tabla 18-3:** Alternativas de diseño

|                 |                                   |
|-----------------|-----------------------------------|
| Alternativa 1 ● | Molino Pulverizador De Martillos  |
| Alternativa 2 ● | Molino Pulverizador De Cuchillas  |
| Alternativa 3 ● | Molino Pulverizador De Bolas      |
| Alternativa 4 ● | Molino Pulverizador De Rodillos   |
| Alternativa 5 ● | Pulverizador De Martillos Forzado |

Realizado por: (Salazar, M.; Varela, R. 2023)

#### 3.3.4.1. Alternativa 1

Una de las soluciones para los requerimientos necesarios del cliente puede ser armazón con contrapesos para que sea estable con tolva de una salida con filtro de malla de seguridad, fuente desde toma de corriente y distribución por Brackets, el encendido va a ser por perilla on/off, indicador led y transmisión por piñón corona.

En el módulo 2 correspondiente al módulo de control puede ser de arranque directo con un control de triturado por molino de bolas y un control del percutor por cantidad de elementos mientras que el percutado es controlado por el tamaño del elemento, la emisión del material particulado no se puede controlar. El paro es por un botón de paro de emergencia y cuenta con una perilla on/off

#### 3.3.4.2. Alternativa 2

Esta solución tiene un anclaje en la base por pernos con tolva de una salida y una malla de seguridad, la conexión es a una toma de corriente y distribución por breakers su encendido es por interruptor on/off y el torque de arranque es por banda polea.

En esta alternativa el control del motor es indirecto, es decir mediante un panel de control, el control del triturado es mediante una trituradora de impacto horizontal, el percutor y el percutado son controlados mediante el tamaño de los elementos, la maquina no cuenta con un colector de material particulado, sin embargo, tiene un botón de emergencia y un interruptor on/off

#### *3.3.4.3. Alternativa 3*

Esta alternativa de solución consta de una estructura estable por soldadura con una tolva de una salida, el filtro de seguridad de malla con conexión a toma de corriente y una distribución por brackers, encendido por interruptor on/off, el torque de arranque es por polea banda.

Esta alternativa cuenta con un panel de control y un control de triturado mediante martillos el control del percutor y del percutado va a depender de la cantidad de elementos, no tiene colector de material particulado, sin embargo, cuenta con un botón de paro de emergencia y un interruptor on/off

#### *3.3.4.4. Alternativa 4*

Esta solución tiene pernos de anclaje con tolva de una salida y trampa para descenso controlado del material. El tipo de fuente que usa es un generador útil en lugares alejados de servicios básicos, la distribución de energía es directa y encendido por llave de seguridad, cuenta con un indicador led y torque de arranque por cadena, aunque esta solución es muy ruidosa.

Tiene un motor de control directo, el control de triturado es mediante una trituradora de rodillos, el control del percutor y del percutado es mediante el tamaño del elemento y de la cantidad de elementos respectivamente, no tiene colector del material, el paro de la maquina es por un limitador de par y cuenta con una llave de seguridad.

#### *3.3.4.5. Alternativa 5*

Esta alternativa tiene refuerzo de soldadura con tolva de una salida y una trampa para el descenso controlado del material. El tipo de conexión es a una toma de corriente y la distribución es por bastidor, el encendido es por perilla on/off. El indicador de la máquina es por indicador led y el torque de arranque es por banda polea.

Esta alternativa de solución cuenta con un variador de frecuencia y un control de triturado por impacto vertical y un control del percutor y percutado es mediante el material del elemento, no tiene un colector de material particulado, tiene un botón de emergencia y una perilla de encendido y apagado.

### 3.3.5. Evaluación de alternativas de solución por criterios ponderados

#### 3.3.5.1. Matrices de evaluación de criterios

##### Criterios de evaluación:

- Eficiencia
- Costo
- Mantenimiento
- Operabilidad
- Vida útil
- Matriz de evaluación de criterios

**Tabla 19-3:** Matriz de evaluación de criterios

| CRITERIO      | EFICIENCIA | COSTO | MANTENIMIENTO | OPERABILIDAD | VIDA UTIL | $\Sigma + 1$ | P.PONDERADO |
|---------------|------------|-------|---------------|--------------|-----------|--------------|-------------|
| EFICIENCIA    |            | 0.5   | 0.5           | 1            | 0.5       | 3.5          | 0.233       |
| COSTO         | 0.5        |       | 1             | 1            | 0.5       | 4            | 0.267       |
| MANTENIMIENTO | 0.5        | 0     |               | 0            | 0.5       | 2            | 0.133       |
| OPERABILIDAD  | 0          | 0     | 1             |              | 0         | 2            | 0.133       |
| VIDA UTIL     | 0.5        | 0.5   | 0.5           | 1            |           | 3.5          | 0.233       |
|               |            |       |               |              | SUMA      | 15           | 1           |

Realizado por: (Salazar, M.; Varela, R. 2023)

**Matriz de evaluación del criterio eficiencia:** ALTERNATIVA 2 > ALTERNATIVA 3 = ALTERNATIVA 4 = ALTERNATIVA 5 > ALTERNATIVA 1

**Tabla 20-3:** Matriz de evaluación del criterio eficiencia

| EFICIENCIA    | ALTERNATIVA 1 | ALTERNATIVA 2 | ALTERNATIVA 3 | ALTERNATIVA 4 | ALTERNATIVA 5 | $\Sigma + 1$ | P.PONDERADO |
|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|--------------|-------------|
| ALTERNATIVA 1 |               | 0             | 0             | 0             | 0             | 1            | 0.067       |
| ALTERNATIVA 2 | 1             |               | 1             | 1             | 1             | 5            | 0.333       |
| ALTERNATIVA 3 | 1             | 0             |               | 0.5           | 0.5           | 3            | 0.200       |
| ALTERNATIVA 4 | 1             | 0             | 0.5           |               | 0.5           | 3            | 0.200       |
| ALTERNATIVA 5 | 1             | 0             | 0.5           | 0.5           |               | 3            | 0.200       |
|               |               |               |               |               | SUMA          | 15           | 1           |

Realizado por: (Salazar, M.; Varela, R. 2023)

**Matriz de evaluación del criterio costo:** ALTERNATIVA 1 > ALTERNATIVA 2 = ALTERNATIVA 3 > ALTERNATIVA 4 = ALTERNATIVA 5

**Tabla 21-3:** Matriz de evaluación del criterio costo

| COSTO         | ALTERNATIVA 1 | ALTERNATIVA 2 | ALTERNATIVA 3 | ALTERNATIVA 4 | ALTERNATIVA 5 | $\Sigma + 1$ | P.PONDERADO |
|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|--------------|-------------|
| ALTERNATIVA 1 |               | 1             | 1             | 1             | 1             | 5            | 0.333       |
| ALTERNATIVA 2 | 0             |               | 0.5           | 1             | 1             | 3.5          | 0.233       |
| ALTERNATIVA 3 | 0             | 0.5           |               | 1             | 1             | 3.5          | 0.233       |
| ALTERNATIVA 4 | 0             | 0             | 0             |               | 0.5           | 1.5          | 0.100       |
| ALTERNATIVA 5 | 0             | 0             | 0             | 0.5           |               | 1.5          | 0.100       |
|               |               |               |               |               | SUMA          | 15           | 1           |

Realizado por: (Salazar, M.; Varela, R. 2023)

**Matriz de evaluación del criterio mantenimiento:** ALTERNATIVA 1 > ALTERNATIVA 2 = ALTERNATIVA 3 > ALTERNATIVA 4 > ALTERNATIVA 5

**Tabla 22-3:** Matriz de evaluación del criterio mantenimiento

|               | ALTERNATIVA 1 | ALTERNATIVA 2 | ALTERNATIVA 3 | ALTERNATIVA 4 | ALTERNATIVA 5 | $\Sigma + 1$ | PONDERRADO |       |
|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|--------------|------------|-------|
| MANTANIMIENTO |               |               |               |               |               |              |            |       |
| ALTERNATIVA 1 |               |               | 1             | 1             | 1             | 1            | 5          | 0.333 |
| ALTERNATIVA 2 | 0             |               |               | 0.5           | 1             | 1            | 3.5        | 0.233 |
| ALTERNATIVA 3 | 0             | 0.5           |               |               | 1             | 1            | 3.5        | 0.233 |
| ALTERNATIVA 4 | 0             | 0             | 0             |               |               | 1            | 2          | 0.133 |
| ALTERNATIVA 5 | 0             | 0             | 0             | 0             |               |              | 1          | 0.067 |
|               |               |               |               |               |               | SUMA         | 15         | 1     |

Realizado por: (Salazar, M.; Varela, R. 2023)

**Matriz de evaluación del criterio operabilidad:** ALTERNATIVA 2 > ALTERNATIVA 1  
 = ALTERNATIVA 3 > ALTERNATIVA 4 = ALTERNATIVA 5

**Tabla 23-3:** Matriz de evaluación del criterio operabilidad

|               | ALTERNATIVA 1 | ALTERNATIVA 2 | ALTERNATIVA 3 | ALTERNATIVA 4 | ALTERNATIVA 5 | $\Sigma + 1$ | PONDERRADO |       |
|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|--------------|------------|-------|
| OPERABILIDAD  |               |               |               |               |               |              |            |       |
| ALTERNATIVA 1 |               |               | 0             | 0.5           | 1             | 1            | 3.5        | 0.233 |
| ALTERNATIVA 2 | 1             |               |               | 1             | 1             | 1            | 5          | 0.333 |
| ALTERNATIVA 3 | 0.5           | 0             |               |               | 1             | 1            | 3.5        | 0.233 |
| ALTERNATIVA 4 | 0             | 0             | 0             |               |               | 0.5          | 1.5        | 0.100 |
| ALTERNATIVA 5 | 0             | 0             | 0             | 0             | 0.5           |              | 1.5        | 0.100 |
|               |               |               |               |               |               | SUMA         | 15         | 1     |

Realizado por: (Salazar, M.; Varela, R. 2023)

**Matriz de evaluación del criterio vida útil:** ALTERNATIVA 2 = ALTERNATIVA 3 >  
 ALTERNATIVA 1 = ALTERNATIVA 4 > ALTERNATIVA 5

**Tabla 24-3:** Matriz de evaluación del criterio vida útil

| VIDA ÚTIL     | ALTERNATIVA 1 | ALTERNATIVA 2 | ALTERNATIVA 3 | ALTERNATIVA 4 | ALTERNATIVA 5 | $\Sigma + 1$ | P.PONDERADO |
|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|--------------|-------------|
| ALTERNATIVA 1 |               | 0             | 0             | 0.5           | 1             | 2.5          | 0.167       |
| ALTERNATIVA 2 | 1             |               | 0.5           | 1             | 1             | 4.5          | 0.300       |
| ALTERNATIVA 3 | 1             | 0.5           |               | 1             | 1             | 4.5          | 0.300       |
| ALTERNATIVA 4 | 0.5           | 0             | 0             |               | 1             | 2.5          | 0.167       |
| ALTERNATIVA 5 | 0             | 0             | 0             | 0             |               | 1            | 0.067       |
|               |               |               |               |               | SUMA          | 15           | 1           |

Realizado por: (Salazar, M.; Varela, R. 2023)

**Matriz de prioridades de alternativas de solución:** Partiendo de la evaluación de cada una de las 5 alternativas de trituradoras, se procedió a escoger tres modelos que satisfagan con los criterios de evaluación como son eficiencia, costo mantenimiento, operabilidad y vida útil. Por tal motivo las mejores trituradoras que tienen la mejor relación entre los criterios de evaluación son: Molino Pulverizador de Cuchillas, Molino Pulverizador de Bolas, y Molino Pulverizador de Martillos, de las cuales la que posee la mejor relación y con respecto a cada uno de los criterios es el Molino Pulverizador de Cuchillas, por lo tanto, se llevará a cabo el diseño de este equipo.

**Tabla 25-3:** Matriz de prioridad de criterio

| RESULTADO     | EFICIENCIA | COSTO | MANTENIMIENTO | OPERABILIDAD | VIDA UTIL | TOTAL | PRIORIDAD |
|---------------|------------|-------|---------------|--------------|-----------|-------|-----------|
| ALTERNATIVA 1 | 0.016      | 0.089 | 0.044         | 0.031        | 0.031     | 0.039 | 0.219     |
| ALTERNATIVA 2 | 0.078      | 0.062 | 0.031         | 0.044        | 0.044     | 0.070 | 0.286     |
| ALTERNATIVA 3 | 0.047      | 0.062 | 0.031         | 0.031        | 0.031     | 0.070 | 0.241     |
| ALTERNATIVA 4 | 0.047      | 0.027 | 0.018         | 0.013        | 0.013     | 0.039 | 0.143     |
| ALTERNATIVA 5 | 0.047      | 0.027 | 0.009         | 0.013        | 0.013     | 0.016 | 0.111     |
|               |            |       |               |              |           | SUMA  | 1         |

Realizado por: (Salazar, M.; Varela, R. 2023)

### 3.4. Diseño de Materialización

Durante esta fase del diseño se requiere generar los planos necesarios para la alternativa seleccionada en la etapa anterior, con el objetivo de facilitar y determinar los medios de manufactura más adecuados para su construcción, lo cual implica incluir el diseño abstracto

de cada pieza, además de todos los procedimientos matemáticos necesarios para un correcto mecaniza y construcción del conjunto, con el objetivo de asegurar la calidad de la máquina y los requerimientos detallados por el cliente, además de todas las características de las piezas para su correcto funcionamiento.

### 3.4.1. Desarrollo del modelo 3D (CAD)

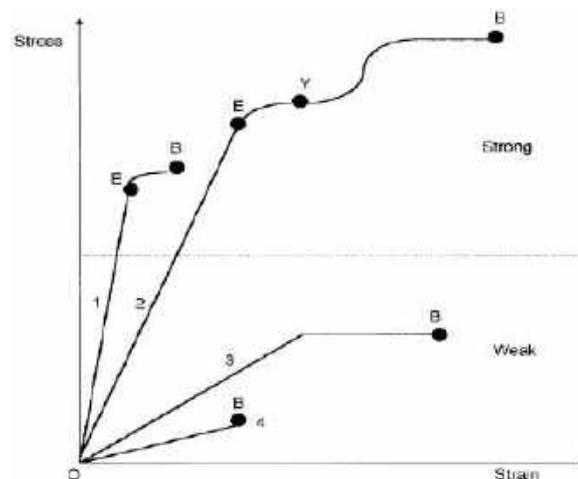
En esta etapa se realizan todos los planos de construcción y manufactura necesarios para poder materializar la alternativa con un mayor criterio de ponderación, los cuales se encuentran adjuntos en el Anexo 1

## 3.5. Diseño de Detalle

### 3.5.1. Teoría de reducción de tamaño en alimentos sólidos

**Tipos de fuerzas en reducción de alimentos:** En todos los tipos de reducción de tamaño de alimentos existen según literatura tres tipos de fuerza empleados, los cuales se sintetizan y se comprenden de modo integro en el desarrollo de una maquina o una herramienta de acople para una maquina existente, estas fuerzas son: (Baudelaire, 2013, p.196).

- Fuerzas de compresión
- Fuerzas de impacto
- Fuerzas de corte



**Ilustración 9-3:** Esfuerzo vs deformación  
Fuente: (Baudelaire, 2013, p.196)

En la mayoría de los equipos un tipo de fuerza de las mencionadas resulta ser la más importante en el funcionamiento de la máquina, la cantidad de energía requerida para lograr fracturar una partícula de alimento es determinada por su dureza, mientras que la tendencia a agrietarse depende netamente de la estructura del alimento, en otras palabras, mientras mayor sea la dureza de un alimento, mayor será el requerimiento de energía necesario para lograr la fractura en partículas de alimentos.

Las fuerzas de compresión son usadas para lograr la fractura en partículas de alimentos con estructura cristalina, al combinar fuerzas de impacto con fuerzas de corte se logra la fractura en alimentos de estructura fibrosa, mientras que las fuerzas de corte individualmente son utilizadas para pulverizados de partículas finas en periodos prolongados de trituración.

**Factores de influencia del entorno:** Otros factores que influyen directamente en la cantidad de energía requerida para lograr la fractura en partículas alimenticias son:

- Porcentaje de humedad
- Sensibilidad al calor del alimento

Debido a estas variables han surgido a lo largo de la historia ciertas técnicas y procedimientos con los cuales se han establecido valores reales de temperatura, humedad, fuerza, potencia, etc. Con estos datos además de especificar rangos de variables de proceso se han identificado resultados para ciertos alimentos o grupos de alimentos tipificados por su estructura y/o naturaleza. (Reyes, 2001, p.64).

### ***3.5.2. Energía requerida en la reducción de tamaño***

#### *3.5.2.1. Ley de Kick*

La ley de Kick establece que la energía requerida para reducir el tamaño de la partícula es proporcional al radio de una medida común entre el tamaño final de la medida. (Fellows, 2000, pp.100-101).

$$E = K_K \ln \left( \frac{d_1}{d_2} \right) \quad (1)$$

Donde:

- $E$  es la energía requerida por masa de alimento por procesar en [J]

- $K_K$  es la constante de Kick [ $J/kg$ ]
- $d_1$  es el tamaño promedio inicial de los alimentos por procesar [ $m$ ]
- $d_2$  es el tamaño promedio final de los alimentos procesados [ $m$ ]

### 3.5.2.2. Ley de Rittinger

La ley de Rittinger establece que la energía requerida para reducir el tamaño de una partícula es proporcional al cambio en el área superficial de las piezas de alimento (al contrario del cambio de dimensión de la ley anterior). (Fellows, 2000, pp.100-101).

$$E = K_R \left( \frac{1}{d_2} - \frac{1}{d_1} \right) \quad (2)$$

Donde:

- $E$  es la energía requerida por masa de alimento por procesar en [ $J$ ]
- $K_R$  es la constante de Rittinger [ $J/kg$ ]
- $d_1$  es el tamaño promedio inicial de los alimentos por procesar [ $m$ ]
- $d_2$  es el tamaño promedio final de los alimentos procesados [ $m$ ]

### 3.5.2.3. Ley de Bond

La ley de bond es usada para calcular la energía requerida para reducir el tamaño relacionando los siguientes parámetros: (Fellows, 2000, pp.100-101).

$$\frac{E}{W} = \sqrt{\left(\frac{100}{d_2}\right)} - \sqrt{\left(\frac{100}{d_1}\right)} \quad (3)$$

Donde:

- $E$  es la energía requerida por masa de alimento por procesar en [ $J$ ]
- $W$  es la constante de Rittinger [ $J/kg$ ]
- $d_1$  es el tamaño promedio inicial de los alimentos por procesar [ $m$ ]
- $d_2$  es el tamaño promedio final de los alimentos procesados [ $m$ ]

### 3.5.2.4. Cálculo de la energía requerida para la reducción de tamaño

**Tabla 26-3:** Constantes de reducción de tamaño

| Moisture content (% d.b.) | Feed rate (kg h <sup>-1</sup> ) | Screen opening (mm)                       |  |  |   |  |  |
|---------------------------|---------------------------------|---|--|--|---|--|--|
|                           |                                 | 0.4                                       |  |  | 0.6                                       |  |  |
|                           |                                 | Rittinger constant (Wh kg <sup>-1</sup> ) | Kick's constant (Wh kg <sup>-1</sup> ) | Bond's work index (Wh kg <sup>-1</sup> ) | Rittinger constant (Wh kg <sup>-1</sup> ) | Kick's constant (Wh kg <sup>-1</sup> ) | Bond's work index (Wh kg <sup>-1</sup> ) |
| 5.1                       | 8                               | 0.066 <sup>e</sup>                        | 0.016 <sup>d</sup>                     | 0.144 <sup>e</sup>                       | 0.096 <sup>d</sup>                        | 0.023 <sup>f</sup>                     | 0.503 <sup>f</sup>                       |
|                           | 16                              | 0.083 <sup>b</sup>                        | 0.018 <sup>f</sup>                     | 0.165 <sup>f</sup>                       | 0.113 <sup>e</sup>                        | 0.025 <sup>e</sup>                     | 0.518 <sup>e</sup>                       |
|                           | 32                              | 0.099 <sup>a</sup>                        | 0.019 <sup>g</sup>                     | 0.183 <sup>f</sup>                       | 0.129 <sup>e</sup>                        | 0.026 <sup>b</sup>                     | 0.533 <sup>b</sup>                       |
| 11.5                      | 8                               | 0.117 <sup>b</sup>                        | 0.020 <sup>g</sup>                     | 0.207 <sup>b</sup>                       | 0.146 <sup>b</sup>                        | 0.028 <sup>b</sup>                     | 0.549 <sup>b</sup>                       |
|                           | 16                              | 0.122 <sup>f</sup>                        | 0.021 <sup>g</sup>                     | 0.268 <sup>d</sup>                       | 0.163 <sup>d</sup>                        | 0.030 <sup>a</sup>                     | 0.564 <sup>a</sup>                       |
|                           | 32                              | 0.130 <sup>e</sup>                        | 0.023 <sup>f</sup>                     | 0.300 <sup>e</sup>                       | 0.180 <sup>c</sup>                        | 0.032 <sup>c</sup>                     | 0.580 <sup>c</sup>                       |
| 17.3                      | 8                               | 0.146 <sup>a</sup>                        | 0.026 <sup>a</sup>                     | 0.371 <sup>e</sup>                       | 0.196 <sup>a</sup>                        | 0.033 <sup>a</sup>                     | 0.595 <sup>a</sup>                       |
|                           | 16                              | 0.163 <sup>c</sup>                        | 0.028 <sup>c</sup>                     | 0.422 <sup>e</sup>                       | 0.213 <sup>c</sup>                        | 0.035 <sup>d</sup>                     | 0.610 <sup>d</sup>                       |
|                           | 32                              | 0.22 <sup>d</sup>                         | 0.030 <sup>d</sup>                     | 0.513 <sup>b</sup>                       | 0.230 <sup>f</sup>                        | 0.037 <sup>d</sup>                     | 0.626 <sup>d</sup>                       |

Fuente: (Smith, 2000, p.18)

#### Ley de Kick:

$$E = K_K \ln\left(\frac{d_1}{d_2}\right)$$

- $K_K = 0.023 \text{ Wh/kg}$
- $d_1 = 0.03 \text{ m}$
- $d_2 = 0.002 \text{ m}$
- $C = 30 \text{ kg/h}$

$$\text{Potencia} = \frac{\text{Energía}}{\text{Masa}} \cdot \text{Capacidad}$$

$$P = (4.127 \cdot 10^{-32} \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}) \cdot (30 \cdot \text{kg} \cdot \text{h}^{-1}) \text{ W}$$

$$P = 2.506 \text{ hp}$$

#### Ley de Rittinger:

$$E = K_R \left( \frac{1}{d_2} - \frac{1}{d_1} \right)$$

- $K_R = 0.13 \text{ Wh/kg}$
- $d_1 = 0.03 \text{ m}$
- $d_2 = 0.002 \text{ m}$

- $C = 30 \text{ kg/h}$

$$\text{Potencia} = \frac{\text{Energía}}{\text{Masa}} \cdot \text{Capacidad}$$

$$P = (4.02 \cdot 10^{-32} \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}) \cdot (30 \cdot \text{kg} \cdot \text{h}^{-1}) \text{ W}$$

$$P = 2.441 \text{ hp}$$

**Ley de Bond:**

$$\frac{E}{W} = \sqrt{\frac{100}{d_2}} - \sqrt{\frac{100}{d_1}}$$

- $W = 0.35 \text{ Wh/kg}$

- $d_1 = 0.03 \text{ m}$

- $d_2 = 0.002 \text{ m}$

- $C = 30 \text{ kg/h}$

$$\text{Potencia} = \frac{\text{Energía}}{\text{Masa}} \cdot \text{Capacidad}$$

$$P = (3.847 \cdot 10^{-32} \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}) \cdot (30 \cdot \text{kg} \cdot \text{h}^{-1}) \text{ W}$$

$$P = 2.336 \text{ hp}$$

**3.5.3. Selección del motor eléctrico**

Para la correcta selección del motor eléctrico, multiplicamos la potencia requerida calculada para el proceso de molienda por un factor de servicio de 1.2, con el objetivo de prevenir cualquier sobrecarga dentro del pulverizador. (Budynas, 2008, pp.213-226).

$$Pm = 1.2 * P$$

Dónde:

$Pm$ : Potencia requerida por la máquina

$P$ : Potencia requerida en el motor eléctrico

$$Pm = 1.2 * (2.4)$$

$$Pm = 2.88 \text{ HP}$$

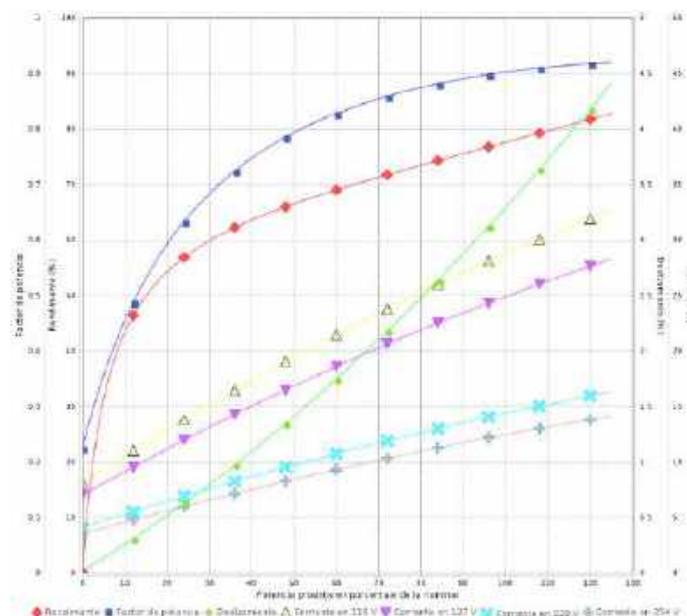
Con este valor, procedemos a escoger un motor eléctrico monofásico de Inducción del catálogo del fabricante WEG con las siguientes características, las cuales se encuentran detalladas en la hoja de datos del fabricante en el anexo L

**Tabla 28-3:** Características del motor

|                    |                 |
|--------------------|-----------------|
| Marca              | WEG             |
| Modelo             | W22-13887628    |
| Potencia           | 3 HP            |
| Polos              | 4               |
| Frecuencia         | 60 Hz           |
| Rotación nominal   | 1750            |
| Tensión nominal    | 110-127         |
| Torque nominal     | 12.1 Nm         |
| Factor de servicio | 1.15            |
| Sentido de giro    | Ambos           |
| Nivel de ruido     | 60 dB(A)        |
| Método de arranque | Partida directa |

Realizado por: (Salazar, M.; Varela, R. 2023)

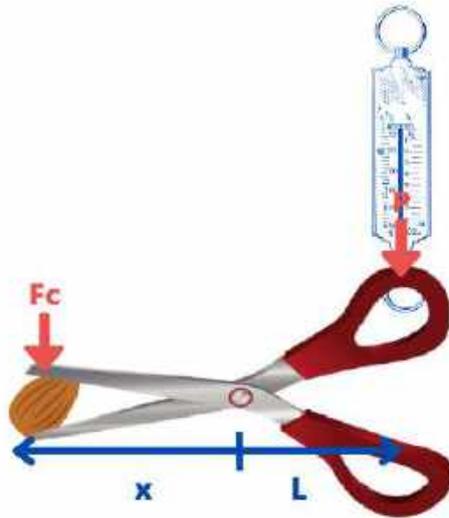
Para comprender el funcionamiento del motor, también es adecuado analizar la curva de desempeño bajo carga de este otorgado por el fabricante, la cual se muestra a continuación y en la cual se puede apreciar las características del motor bajo las diferentes tensiones de trabajo, y su rendimiento ante estas configuraciones.



**Ilustración 12-3:** Curva de Desempeño del Motor WEG W22  
Fuente: (Catálogo WEG, 2022)

### 3.5.4. Cálculo de la fuerza de corte

Para poder dividir los diferentes productos a triturar es necesario un valor específico de fuerza de corte, el cual se puede determinar de manera experimental mediante el procedimiento indicado en la Ilustración 5-3 donde se aplica una fuerza P que es medida mediante un dinamómetro hasta que se llegue a un golpe limpio de las diferentes muestras. Este proceso se realiza 15 veces con el objetivo de obtener un promedio de dicha fuerza P que se aplica.



**Ilustración 10-3:** Proceso de obtención de la fuerza de corte de manera experimental  
 Realizado por: (Salazar, M.; Varela, R. 2023)

Los resultados obtenidos de la fuerza P se muestran en la tabla 27-3 en [Kg], con los cuales se puede determinar la fuerza de corte **F<sub>c</sub>** para el molino pulverizador.

**Tabla 27-3:** Datos experimentales

| No. muestra | Fuerza P obtenida (Kg) | No. muestra | Fuerza P obtenida (Kg) | No. muestra | Fuerza P obtenida (Kg) |
|-------------|------------------------|-------------|------------------------|-------------|------------------------|
| 1           | 1.5                    | 6           | 2                      | 11          | 2.25                   |
| 2           | 2                      | 7           | 2.75                   | 12          | 2.75                   |
| 3           | 2.5                    | 8           | 2.5                    | 13          | 2.5                    |
| 4           | 1.5                    | 9           | 2.5                    | 14          | 2                      |
| 5           | 2                      | 10          | 1.5                    | 15          | 2.5                    |

Realizado por: (Salazar, M.; Varela, R. 2023)

$$M_{prom} = 2.183 \text{ kg}$$

$$P_{prom} = 3.016 * 9.81 = 21.42 \text{ N}$$

La fuerza P promedio obtenida que se obtiene como se muestra en la Ilustración según el esquema de trabajo de la herramienta. Se debe apreciar que la fuerza de aplicación P no es igual a la fuerza de corte  $F_c$  que se requiere para el cálculo, para poder encontrar el valor de esta, se tiene que realizar un análisis de palanca como se muestra en la Ilustración 11-3



**Ilustración 11-3:** Análisis de fuerzas presentes en la tijera  
 Realizado por: (Salazar, M.; Varela, R. 2023)

$$F_c * x = p * l \quad (4)$$

$F_c$ : Fuerza de corte

$x$ : distancia del brazo para la fuerza de corte

$p$ : fuerza aplicada

$l$ : distancia del brazo de la fuerza aplicada

$$F_c * x = p * l$$

$$F_c * 40 = 21.42 * 60mm$$

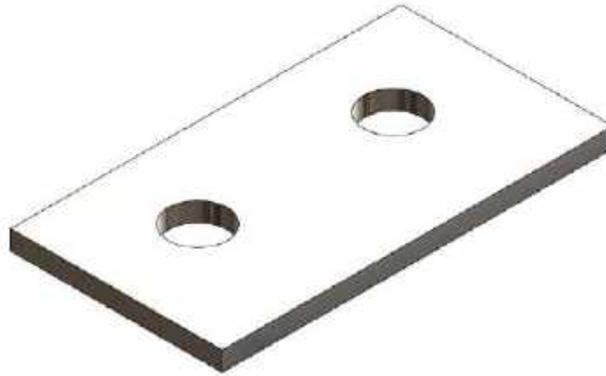
$$F_c = \frac{1285.2 \text{ N} \cdot \text{mm}}{40 \text{ mm}} = 32.13 \text{ N}$$

### 3.5.5. Diseño del percutor

Es la herramienta primordial triturado, su diseño consiste en forma básica, en el cálculo de sus dimensiones, El material que se recomienda para esta tarea es el AISI 304, debido a que es un material adecuado para los procesos de molienda.

- Longitud de la barra: 120 mm
- Ancho de la barra: 65 mm
- Espesor: 3 mm
- Material: Acero Inoxidable Austenítico Maquinable
- Densidad: 0.01 g/mm<sup>3</sup>
- Módulo de Young  $E=190\text{GPa} = 190\,000 \text{ N/mm}^2$

- $S_y = 205 \text{ MPa}$



**Ilustración 13-3:** Placa Martillo del Percutor del molino pulverizador  
 Realizado por: (Salazar, M.; Varela, R. 2023)

### 3.5.5.1. Diseño a flexión por impacto a carga estática

**Cuando el voladizo esté sometido a una carga concentrada a mediados de su tramo:** Se empieza por calcular el área total de pantalla ( $A_T$ ) abierta por percutor, la cual se estima como un 67% del área de la placa de percutor ( $A_p$ ).

$$A_T = 0.67A_p$$

$$A_T = 0.67(65 * 120)$$

$$A_T = 5226 \text{ mm}^2$$

Ahora a partir de la capacidad de  $30 \text{ Kg/h}$  y una velocidad angular del motor de  $1730 \text{ rpm}$  del rotor se tiene 12 impactos por 6 placas en un segundo. Es decir, el rotor tiene 12 placas de impacto.

Entonces, impacto del tonelaje

$$w = \frac{30 \times 10^3 \times 9.81}{3600 \times 4}$$

$$w = 20.4375 \text{ N}$$

Sea la flexión  $y$

Aplicando la ecuación de impacto se obtiene:

$W(h + y) = Py/2$  Donde  $P$  es la fuerza estática equivalente

$$\therefore 20.4375 \times (500 + y) = PY/2$$

También para una viga en voladizo sometida a una carga, la deflexión la ecuación de impacto se escribe:

$$y = Pl^3 \frac{1}{3EI}$$

$$\therefore P = \frac{3EIY}{l^3}$$

$$\therefore 20.4375 \times (500 + y) = \frac{3EIy^2}{2l^3}$$

$$\text{donde } I = \frac{bd^3}{12} = 120 \times \frac{30^3}{12} = 270 \times 10^3 \text{ mm}^4$$

$$\therefore EI = 2.128 \times 10^{11} \text{ Nmm}^2$$

Así que se obtiene:

$$27.22 \times (30 + y) = \frac{3 \times 2.128 \times 10^{11} \times y^2}{2 \times 120^3}$$

$$\rightarrow y = 0.438 \text{ mm (deflexión)}$$

$$\therefore P = \frac{3EIY}{l^3} = \frac{3 \times 270 \times 10^3 \times 1.681}{405^3} = 4241.978 \text{ N}$$

$$M_{max} = 4241.978 \times \frac{75}{2} = 1.591 \times 10^5 \text{ N mm}$$

Dado que el esfuerzo permisible es:

$$\sigma_{ys} = 500 \text{ MPa} = 500 \text{ N/mm}^2$$

Se puede calcular el máximo momento permisible.

$$M_{all} = \sigma_{ys} Xz = \sigma \times \frac{I}{\frac{d}{2}} = 500 \times 120 \times 30 \times 30 \times \frac{2}{12} = 3.844 \times 10^7 \text{ Nmm}$$

Es esta manera se verifica que el momento máximo permisible es mayor al calculado, por lo tanto, el diseño es seguro para la aplicación.

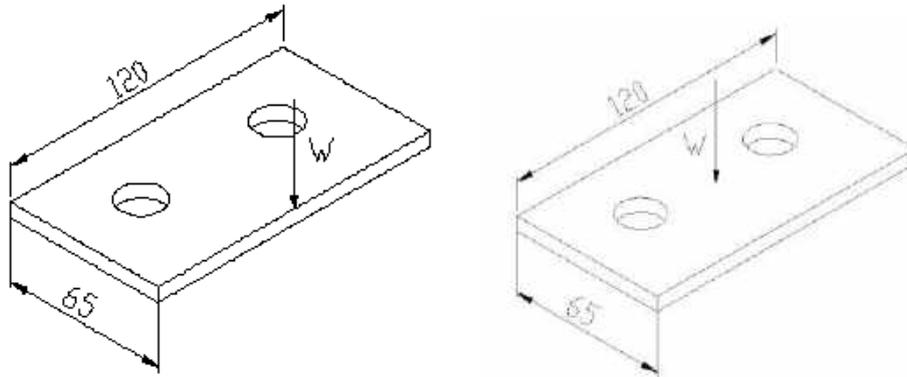
$$M_{all} > M_{max}$$

$$3.844 \times 10^7 \text{ Nmm} > 1.591 \times 10^5 \text{ N mm}$$

**Cuando la barra de soplado en voladizo se someta a una carga concentrada en la punta del voladizo:** Tenemos el siguiente sistema.

$$W(h + y) = Py/2$$

$$\therefore 27.22 \times (500 + y) = Py/2$$



**Ilustración 14-3:** Dimensiones del percutor  
Realizado por: (Salazar, M.; Varela, R. 2023)

Dónde  $P = \frac{3EIy}{l^3}$

$$\therefore W \times (h + y) = \frac{3EIy^2}{2l^3}$$

$$\therefore 27.22 \times (500 + y) = \frac{3 \times 2.128 \times 10^{11} \times y^2}{2 \times 405^3}$$

$$\rightarrow y = 1.68 \text{ mm (Deflección)}$$

$$\therefore P = \frac{3EIY}{l^3} = \frac{3 \times 2.128 \times 10^{11} \times 1.68}{405^3} = 16\,242.188 \text{ N}$$

Máximo. Momento  $M_{\max} = Pxl = (16\,242.188)(75) = 1.218 \times 10^6 \text{ Nmm}$

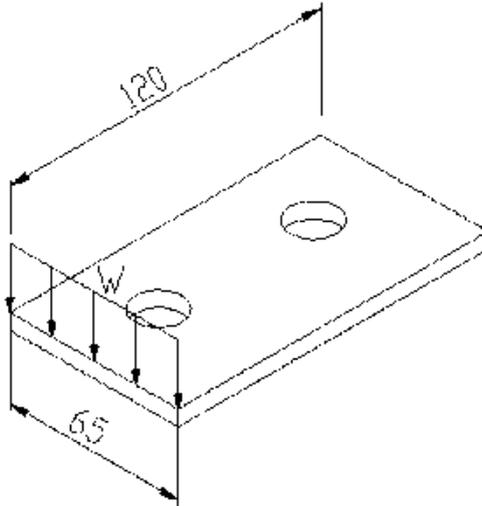
Máx. Momento permitido  $M_{\text{all}} = \sigma Z = 3.844 \times 10^7 \text{ Nmm}$

Entonces, el diseño es seguro dado que:  $M_{\max} < M_{\text{all}}$

**Tensión de flexión por impacto debida a una viga en voladizo sometida a una carga distribuida uniformemente:** Se tienen que tomar en cuenta varios parámetros del percutor para poder comenzar con el análisis.

Tonelaje total / martillo / impacto = 27.22 N

Longitud de la barra de soplado expuesta  $l = 75X(2/3) = 50 \text{ mm}$



**Ilustración 15-3:** Tensión de viga en voladizo  
 Realizado por: (Salazar, M.; Varela, R. 2023)

Altura de la pulgada de caída  $h = 500 \text{ mm}$

$$W = 27.22 \text{ N}$$

Dado que el peso se distribuye uniformemente a lo largo de la longitud  $l = 50 \text{ mm}$

Tenemos  $W(h + y) = Py/2$

El momento de flexión en cualquier sección de la fija se da como:

$$M = EI \times \frac{d^2y}{dx^2} = -\frac{W}{2}(l - x)^2$$

Integrando se consigue

$$EI \times y = -\frac{W}{24}(l - x)^4 - \frac{Wl^3x}{6} + C_1$$

At  $x = 0, y = 0$   $C_1 = wl^2/24$

$$\therefore y = -\frac{W}{24EI}(l - x)^4 - \frac{Wl^3x}{6EI} + \frac{Wl^4}{24EI}$$

Pequeño trabajo realizado debido al impacto de la carga distribuida  $w = W(h + y)/ldx$

Así que el trabajo total realizado se convierte en  $= \int_0^l \frac{W(h+y)}{l} dx$

$$\begin{aligned}
&= \frac{W}{l} \int_0^l \left( h - \frac{W(l-x)^4}{24EI} - \frac{Wl^3x}{6EI} + \frac{Wl^4}{24EI} \right) dx \\
&= \frac{W}{l} \left\{ hl + \left[ \frac{W(l-x)^5}{120EI} \right]_0^l - \left[ \frac{W(l)^3x^2}{12EI} \right]_0^l + \left[ \frac{W(l)^4x}{24EI} \right]_0^l \right\} \\
&= \frac{W}{l} \left( hl - \frac{Wl^5}{20EI} \right) \\
&= \frac{27.22}{75} \left( 500 \times 75 - \frac{27.22 \times 75^5}{20 \times 2.128 \times 10^{11}} \right) = 13\,610 \text{ Nmm}
\end{aligned}$$

También trabajo estático realizado =  $\int P \frac{y}{2} dx$

$$\begin{aligned}
&= \int_0^l \frac{P}{2} \left[ \frac{-W(l-x)^4}{24EI} - \frac{Wl^3x}{6EI} + \frac{Wl^4}{24EI} \right] dx \\
&= \frac{P}{2} \left\{ \left[ \frac{W(l-x)^5}{120EI} \right]_0^l - \left[ \frac{W(l)^3x^2}{12EI} \right]_0^l + \left[ \frac{W(l)^4x}{24EI} \right]_0^l \right\} \\
&= \left( -\frac{P}{40} \frac{wl^5}{EI} \right)
\end{aligned}$$

Así que tenemos

$$\begin{aligned}
\int \frac{w}{l} (h+y) dx &= \int \frac{Py}{2} dx \\
\therefore 13\,610 &= \frac{-P \times 27.22 \times 75^5}{40 \times 2.128 \times 10^{11}}
\end{aligned}$$

Así que obtenemos  $P = 1804.275.13 \text{ N}$

Momento máximo,  $M_{\max} = Pl/2 = 6.7 \times 10^7 \text{ N mm}$

Esfuerzo máximo inducido,  $\sigma_b = M/Z = 2M/Id = \frac{6.7 \times 10^7}{1.85 \times 10^7} \left( \frac{90}{2} \right) = 192.973 \text{ N/mm}^2$

Pero el esfuerzo máximo permitido  $M_{\text{permisible}} = 500 \text{ N/mm}^2$

Por lo tanto, el diseño también es seguro de acuerdo con esta condición.

### 3.5.5.1. Diseño a Cizalla por impacto a carga estática

Usando el método de energía de deformación y aproximando la carga para que sea estática,

El esfuerzo cortante producido por la fuerza F a cualquier distancia y es:

$$\tau = \frac{FAy}{Ib} = \frac{F \times b}{I \times b} \left( \frac{d}{2} - y \right) \left( \frac{d}{4} + \frac{y}{2} \right)$$

$$\tau = \frac{6F}{bd^3} \left( \frac{d^2}{4} - y^2 \right)$$

Energía de deformación cortante para un volumen pequeño

$$dv = \frac{\tau^2}{2G} (\text{volumen})$$

$$\frac{1}{2G} \left[ \frac{6F}{bd^3} \left( \frac{d^2}{4} - y^2 \right) \right]^2 \times (bdy) \times (dx)$$

Entonces la energía de deformación es  $= \int_0^L \int_0^{d/2} d$

$$= \frac{1}{2G} \int_0^L \int_0^{d/2} \left[ \frac{6F}{bd^3} \left( \frac{d^2}{4} - y^2 \right) \right]^2 \times (bdy) \times (dx)$$

$$= \frac{1}{2G} \times \left( \frac{6F}{bd^3} \right)^2 b \times \int_0^L \left[ \frac{d^4 y}{16} + \frac{y^5}{5} - \frac{d^2 y^3}{6} \right]^{d/2} dx = \frac{3F^2 L}{10bGd}$$

Trabajo realizado  $W = F \times \frac{y_s}{2}$  donde  $y_s$  = desplazamiento

Entonces se tiene

$$y_s = \frac{6PL}{10bGd}$$

Donde  $P = 27.23 \text{ N}$ ;  $G =$  módulo de compresibilidad  $= 80 \text{ GPa} = 80 \times 10^3 \text{ N/mm}^2$

$$\text{Entonces } y_s = \frac{6 \times 27.23 \times 60}{10 \times 1200 \times 200 \times 80 \times 10^3} = 0.000000051 \text{ mm}$$

### 3.5.6. Diseño de placas de impacto

Las placas de impacto son las estructuras que ayudan en la trituración al impactar aún más con el material arrojado por el conjunto del rotor. Estas estructuras pueden estar formadas por placas gruesas o vigas fijadas en una cara de manera que podemos cambiar la orientación, así como la alineación para alterar la distancia entre el rotor y la turbina. Este mecanismo también ayuda a cambiar el ángulo en el que el material impacta en la turbina para obtener

el tamaño y la forma requeridos de las partículas fragmentadas. Se utilizan varias de estas placas de impacto para obtener la fragmentación en diferentes niveles y ángulos.

Considerando que las placas son de viga rectangular alineada en ángulo  $\theta$  w.r.t el eje horizontal.

Fuerza ejercida por la partícula entrante  $F = mr\omega^2$

Donde  $m$  = masa de la partícula entrante = 14 Kg (se supone Max)

$r$  = radio del rotor = 120 mm = 0.187 m

$\omega$  = velocidad angular del rotor =  $2\pi N/60 = 16\pi$

Así que

$$F = 4244.719 \text{ N}$$

Para la carga de impacto lo multiplicamos por un factor de 2.5 fuerza que actúa sobre la placa durante el impacto.  $P = 2.5 F = 10611.79865 \text{ N}$

Sea las dimensiones de la placa  $120 \times 65 \times 3 \text{ mm}^3$ .

La placa está hecha de acero inoxidable con  $\sigma = 500 \text{ Mpa}$

### **Cuando la carga se concentra en la punta de la placa de impacto:**

Aquí  $P = 16580.935 \text{ N}$

$d = 8 \text{ mm}; b = 136 \text{ mm}; l = 135 \text{ mm}$

Podemos ver ese momento de flexión =  $Pl \sin \theta$

Así que el momento flector máximo =  $M_{\max} = P \cdot l = 33161872.5 \text{ N mm}$

Máximo momento de flexión permitido =  $M_{\text{perm}} = \sigma Z = \frac{\sigma(bd^3)}{6} = \frac{500 \times (1200 \times 50^3)}{6}$

$$= 12.5 \times 10^9 \text{ N mm}$$

Dado que el momento de flexión permitido es mayor, el diseño es seguro para este tipo de impacto. b) Cuando la carga se distribuya uniformemente sobre la placa

Aquí  $P = 44215.83 \text{ N}$

Distribución de carga  $p = P/l = 58.954 \text{ N/mm}$

Ahora el momento en la viga con carga distribuida uniformemente en cualquier punto se da como  $M = px/2$

Aquí el momento de flexión será máximo cuando  $x = l = 68 \text{ mm}$

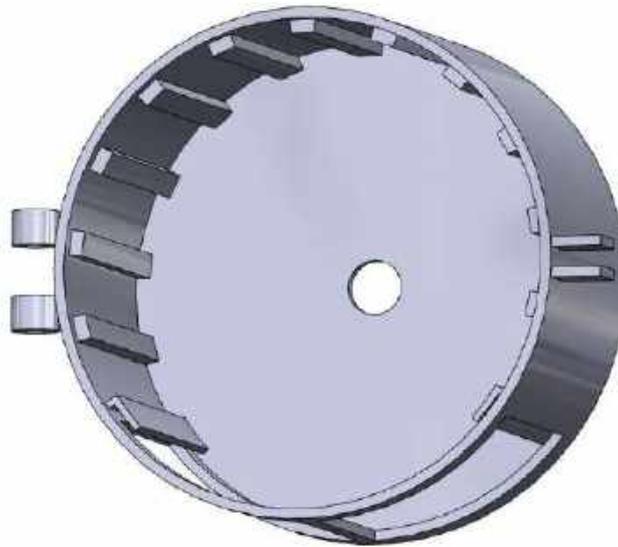
Así que máximo momento de flexión  $= M_{\max} = pl^2/2 = Pl/2$

$$= 16580936.25 \text{ N mm}$$

Pero el máximo permitido BM  $= M_{\text{perm}} = \sigma Z = \frac{\sigma(bd^3)}{6} = \frac{500 \times (1200 \times 50^3)}{6}$

$$= 12.5 \times 10^9 \text{ N mm}$$

Aquí también el momento de flexión permitido es mayor que el momento máximo de flexión producido. Por lo tanto, el diseño también se considera seguro en esta condición.



**Ilustración 16-3:** Disposición de las placas de impacto  
Realizado por: (Salazar, M.; Varela, R. 2023)

### 3.5.7. Cálculo de poleas y Correas

#### 3.5.7.1 Correas

1.- Datos para la selección de la polea

**Tabla 29-3:** Datos experimentales

|                     |          |
|---------------------|----------|
| Potencia del motor  | 3 HP     |
| Velocidad del motor | 1750 RPM |
| Velocidad requerida | 2000 RPM |

Realizado por: (Salazar, M.; Varela, R. 2023)

2.- Relación de transmisión

$$i = \frac{W_1}{W_2} = \frac{1750}{2000} = 0.875$$

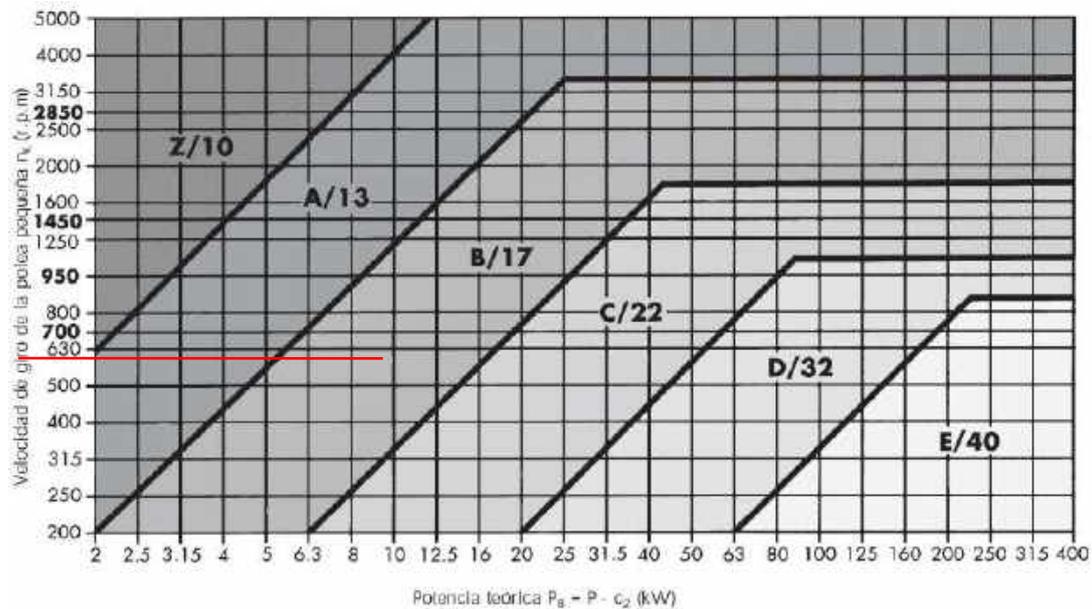
3.- Relación de transmisión

$$P_D = P * C_2$$

$$P = 3HP = 2.237$$

$$P_D = 3HP * 1.5 = 4.5HP = 3.3kW$$

4.- Selección del perfil de la banda



**Ilustración 17-3:** Perfil de la banda

Fuente: (Optibelt, 2006, p.68)

5.- Diámetros de las poleas

$$i = \frac{D_{p-motor}}{d_{p-eje}}$$

72

Se escogen los diámetros de las poleas con el objetivo de aminorar el espacio que se requiere para poder cumplir con la relación de transmisión que se requiere para cumplir con la velocidad.

$$D_{p-motor} = 101.6mm(\text{según catálogo})$$

$$i = 0.875 = \frac{101.6mm}{d_{p-eje}}$$

$$d_{p-eje} = 88.9mm$$

6.- Distancia entre centros

$$C_{c-min} = 0.7 * (D_{p-motor} + d_{p-eje})$$

$$C_{c-min} = 0.7 * (101.6 + 88.9)$$

$$C_{c-min} = 133.35mm$$

$$C_{c-min} = 2 * (D_{p-motor} + d_{p-eje})$$

$$C_{c-min} = 2 * (101.6 + 88.9)$$

$$C_{c-min} = 381mm$$

Por recomendación del fabricante es necesario que la distancia entre centros se encuentre dentro de estos valores, teniendo para este caso un valor escogido de 340 mm, esto con el fin de emplear de la mejor manera posible el espacio que se tiene disponible dentro del bastidor.

7.- Longitud de la correa

$$L = 2 * C_c + (1.57 * (D_{p-motor} + d_{p-eje})) + \frac{(D_{p-motor} - d_{p-eje})}{4 * C_c}$$

$$L = 2 * C_c + (1.57 * (D_{p-motor} + d_{p-eje})) + \frac{(D_{p-motor} - d_{p-eje})}{4 * C_c}$$

$$L = 2 * 340mm + (1.57(101.6mm + 88.9mm)) + \frac{(101.6mm - 88.9mm)^2}{4 * 340mm}$$

$$L = 979.2mm$$

$$L_N = 997mm$$

8.- Arco de contacto

$$\alpha_1 = 180 - 57 \left( \frac{D_{p-motor} - d_{p-eje}}{C_c} \right) > 120$$

$$\alpha_1 = 180 - 57 \left( \frac{101.6 - 88.9}{340} \right) > 120$$

$$\alpha_1 = 177.87^\circ$$

$$\alpha_2 = 180 + 57 \left( \frac{D_{p-motor} - d_{p-eje}}{C_c} \right) > 120$$

$$\alpha_1 = 180 + 57 \left( \frac{101.6 - 88.9}{340} \right) > 120$$

$$\alpha_1 = 182.129^\circ$$

9.- Número de correas

$$Z = \frac{P}{C_1 * C_3 * P_N}$$

Donde:

$C_1$  = Factor de ángulo de carga

$C_3$  = Factor de desarrollo

$P_N$  = Potencia máxima de la banda

- Factor de ángulo de carga

$$\left( \frac{D_{p-motor} - d_{p-eje}}{C_c} \right) = 0.0374$$

$$\alpha_1 = \beta = 182.129^\circ$$

| $\frac{d_{dg} - d_{dk}}{a_{nom}}$ | $\beta \approx$ | $C_1$ |
|-----------------------------------|-----------------|-------|
| 0                                 | 180°            | 1,00  |
| 0,05                              | 177°            | 1,00  |
| 0,10                              | 174°            | 1,00  |
| 0,15                              | 171°            | 1,00  |
| 0,20                              | 168°            | 0,99  |

**Ilustración 18-3:** Factor de ángulo de carga

Fuente: (Optibelt, 2006, p.69)

Por tanto:

$$C_1 = 1 \text{ para un ángulo de contacto de } 180^\circ$$

- Factor de desarrollo

| Perfil Y/6*                   |       | Perfil 8                      |       | Perfil Z/10, ZX/X10           |       | Perfil A/13, AX/X13           |       | Perfil B/17, BX/X17           |       |
|-------------------------------|-------|-------------------------------|-------|-------------------------------|-------|-------------------------------|-------|-------------------------------|-------|
| Desarrollo de referencia (mm) | $c_3$ |
| 280                           | 0,97  | 299*                          | 0,86  | 422*                          | 0,86  | 660                           | 0,80  | 900                           | 0,81  |
| 295                           | 0,99  | 334*                          | 0,88  | 447*                          | 0,87  | 740                           | 0,82  | 990                           | 0,83  |
| 315                           | 1,00  | 374*                          | 0,91  | 472*                          | 0,88  | 780                           | 0,83  | 1040                          | 0,84  |
| 330                           | 1,01  | 419*                          | 0,93  | 497*                          | 0,89  | 830                           | 0,85  | 1100                          | 0,85  |
| 350                           | 1,02  | 444*                          | 0,94  | 522*                          | 0,90  | 880                           | 0,86  | 1140                          | 0,85  |
| 370                           | 1,04  | 469*                          | 0,95  | 552*                          | 0,92  | 930                           | 0,87  | 1220                          | 0,87  |
| 390                           | 1,05  | 494*                          | 0,97  | 582*                          | 0,93  | 980                           | 0,88  | 1290                          | 0,88  |
| 415                           | 1,06  | 549*                          | 0,99  | 622*                          | 0,94  | 1030                          | 0,89  | 1360                          | 0,89  |
| 440                           | 1,07  | 579*                          | 1,00  | 652*                          | 0,95  | 1090                          | 0,90  | 1440                          | 0,90  |
| 465                           | 1,09  | 594*                          | 1,01  | 692*                          | 0,96  | 1150                          | 0,91  | 1540                          | 0,92  |
| 490                           | 1,10  | 619*                          | 1,01  | 732*                          | 0,98  | 1210                          | 0,92  | 1640                          | 0,93  |
| 515                           | 1,11  | 649*                          | 1,02  | 822*                          | 1,00  | 1280                          | 0,94  | 1740                          | 0,94  |
| 555                           | 1,13  | 689*                          | 1,04  | 847*                          | 1,01  | 1350                          | 0,95  | 1840                          | 0,95  |
| 615                           | 1,15  | 729*                          | 1,05  | 887*                          | 1,02  | 1430                          | 0,96  | 1940                          | 0,97  |
| 725                           | 1,19  | 769*                          | 1,06  | 922*                          | 1,02  | 1530                          | 0,97  | 2040                          | 0,98  |
| 765                           | 1,20  | 819*                          | 1,08  | 947*                          | 1,03  | 1630                          | 0,99  | 2160                          | 0,99  |
| 865                           | 1,23  | 869*                          | 1,09  | 997*                          | 1,04  | 1730                          | 1,00  | 2280                          | 1,00  |
|                               |       | 894*                          | 1,10  | 1022*                         | 1,05  | 1830                          | 1,01  | 2400                          | 1,01  |
|                               |       | 919*                          | 1,10  | 1082*                         | 1,06  | 1930                          | 1,02  | 2590                          | 1,03  |

**Ilustración 19-3:** Factor de desarrollo

Fuente: (Optibelt, 2006, p.70)

Por tanto:

$$C_3 = 1.04 \text{ para una longitud nominal de } 997 \text{ mm}$$

- Potencia máxima de la banda

| Velocidad v (m/s) | $n_1$ (min <sup>-1</sup> ) | Diámetro de referencia de la polea pequeña $d_a$ (mm) |      |      |      |      |      |      |      |      | Suplemento de potencia (kW) por correa para $i$ |                 |                 |       |
|-------------------|----------------------------|---|------|------|------|------|------|------|------|------|---|-----------------|-----------------|-------|
|                   |                            | 45  | 50   | 55   | 63   | 71   | 80   | 90   | 100  | 112  | 1,01 hasta 1,05                                 | 1,06 hasta 1,26 | 1,27 hasta 1,57 | >1,57 |
| 700               | 700                        | 0,18  | 0,22 | 0,28 | 0,34 | 0,42 | 0,50 | 0,59 | 0,67 | 0,77 | 0,00  | 0,02            | 0,03            | 0,03  |
|                   | 950                        | 0,22  | 0,28 | 0,35 | 0,44 | 0,53 | 0,64 | 0,75 | 0,86 | 1,00 | 0,00  | 0,02            | 0,04            | 0,04  |
|                   | 1450                       | 0,29  | 0,38 | 0,48 | 0,60 | 0,74 | 0,89 | 1,06 | 1,22 | 1,40 | 0,01  | 0,03            | 0,06            | 0,06  |
|                   | 2850                       | 0,42  | 0,58 | 0,77 | 0,98 | 1,22 | 1,47 | 1,75 | 2,03 | 2,33 | 0,01  | 0,07            | 0,11            | 0,12  |
| 1000              | 1000                       | 0,04  | 0,05 | 0,06 | 0,07 | 0,08 | 0,10 | 0,11 | 0,13 | 0,15 | 0,00  | 0,00            | 0,00            | 0,00  |
|                   | 2000                       | 0,07  | 0,08 | 0,10 | 0,12 | 0,15 | 0,17 | 0,20 | 0,23 | 0,27 | 0,00  | 0,00            | 0,01            | 0,01  |
|                   | 3000                       | 0,09  | 0,12 | 0,14 | 0,17 | 0,21 | 0,25 | 0,29 | 0,33 | 0,38 | 0,00  | 0,01            | 0,01            | 0,01  |
|                   | 4000                       | 0,12  | 0,15 | 0,18 | 0,22 | 0,26 | 0,31 | 0,37 | 0,43 | 0,48 | 0,00  | 0,01            | 0,02            | 0,02  |
| 5000              | 5000                       | 0,14  | 0,17 | 0,21 | 0,26 | 0,32 | 0,38 | 0,44 | 0,51 | 0,58 | 0,00  | 0,01            | 0,02            | 0,02  |
|                   | 6000                       | 0,16  | 0,20 | 0,25 | 0,30 | 0,37 | 0,44 | 0,51 | 0,59 | 0,68 | 0,00  | 0,01            | 0,02            | 0,03  |
|                   | 7000                       | 0,18  | 0,22 | 0,28 | 0,34 | 0,42 | 0,50 | 0,59 | 0,67 | 0,77 | 0,00  | 0,02            | 0,03            | 0,03  |
|                   | 8000                       | 0,19  | 0,25 | 0,31 | 0,38 | 0,46 | 0,55 | 0,65 | 0,75 | 0,87 | 0,00  | 0,02            | 0,03            | 0,03  |
| 10000             | 9000                       | 0,21  | 0,27 | 0,34 | 0,42 | 0,51 | 0,61 | 0,72 | 0,84 | 0,95 | 0,00  | 0,02            | 0,03            | 0,04  |
|                   | 10000                      | 0,23  | 0,29 | 0,37 | 0,45 | 0,55 | 0,66 | 0,78 | 0,90 | 1,04 | 0,00  | 0,02            | 0,04            | 0,04  |
|                   | 11000                      | 0,24  | 0,31 | 0,39 | 0,49 | 0,60 | 0,72 | 0,85 | 0,97 | 1,12 | 0,01  | 0,03            | 0,04            | 0,05  |
|                   | 12000                      | 0,25  | 0,33 | 0,42 | 0,52 | 0,64 | 0,77 | 0,91 | 1,05 | 1,21 | 0,01  | 0,03            | 0,05            | 0,05  |
| 13000             | 13000                      | 0,27  | 0,35 | 0,45 | 0,56 | 0,68 | 0,82 | 0,97 | 1,11 | 1,29 | 0,01  | 0,03            | 0,05            | 0,06  |
|                   | 14000                      | 0,28  | 0,37 | 0,47 | 0,59 | 0,72 | 0,87 | 1,03 | 1,18 | 1,37 | 0,01  | 0,03            | 0,05            | 0,06  |
|                   | 15000                      | 0,29  | 0,39 | 0,49 | 0,62 | 0,76 | 0,92 | 1,08 | 1,25 | 1,44 | 0,01  | 0,04            | 0,05            | 0,06  |
|                   | 16000                      | 0,31  | 0,40 | 0,52 | 0,65 | 0,80 | 0,96 | 1,13 | 1,31 | 1,52 | 0,01  | 0,04            | 0,06            | 0,07  |
| 17000             | 17000                      | 0,32  | 0,42 | 0,54 | 0,68 | 0,84 | 1,01 | 1,19 | 1,38 | 1,59 | 0,01  | 0,04            | 0,07            | 0,07  |
|                   | 18000                      | 0,33  | 0,44 | 0,56 | 0,71 | 0,87 | 1,05 | 1,25 | 1,44 | 1,66 | 0,01  | 0,04            | 0,07            | 0,08  |
|                   | 19000                      | 0,34  | 0,45 | 0,59 | 0,74 | 0,91 | 1,10 | 1,30 | 1,50 | 1,73 | 0,01  | 0,05            | 0,07            | 0,08  |
|                   | 20000                      | 0,35  | 0,47 | 0,61 | 0,77 | 0,94 | 1,14 | 1,35 | 1,56 | 1,80 | 0,01  | 0,05            | 0,08            | 0,09  |

**Ilustración 20-3:** Potencia máxima de la banda

Fuente: (Optibelt, 2006, p.120)

Interpolamos entre los valores de 1700 y 1800 RPM

|      |      |
|------|------|
| 1700 | 1.19 |
| 1750 | Y    |
| 1800 | 1.25 |

$$y_x = y_o + \frac{y_1 - y_o}{x_1 - x_o} (x - x_o)$$

$$C_3 = y_{1750} = 1.19 + \frac{1.25 - 1.19}{1800 - 1700} (1750 - 1700) = 1.22$$

Con estos parámetros procedemos a calcular el número de correas requeridas para nuestro sistema de transmisión.

$$Z = \frac{P}{C_1 * C_3 * P_N}$$

$$Z = \frac{2.2}{1 * 1.04 * 1.22} = 1.734$$

Por tanto, se obtiene un número de correas de dos para poder cumplir con la relación de transmisión que se requiere para el sistema.

10.- Factor de seguridad

$$n = \frac{C_1 * C_3 * P_N * Z}{P}$$

$$n = \frac{1 * 1.04 * 1.22 * 2}{2.2}$$

$$n = 2.15$$

11.- Velocidad

$$V = \frac{D_{p-motor} * W_1}{19100}$$

$$V = \frac{101.6mm * 1750rpm}{19100} = 9.3 \frac{m}{s}$$

12.- Tensión por fuerza centrífuga

$$T_c = \rho_b * V^2$$

Donde:

$T_c$  = Tensión por fuerza centrífuga

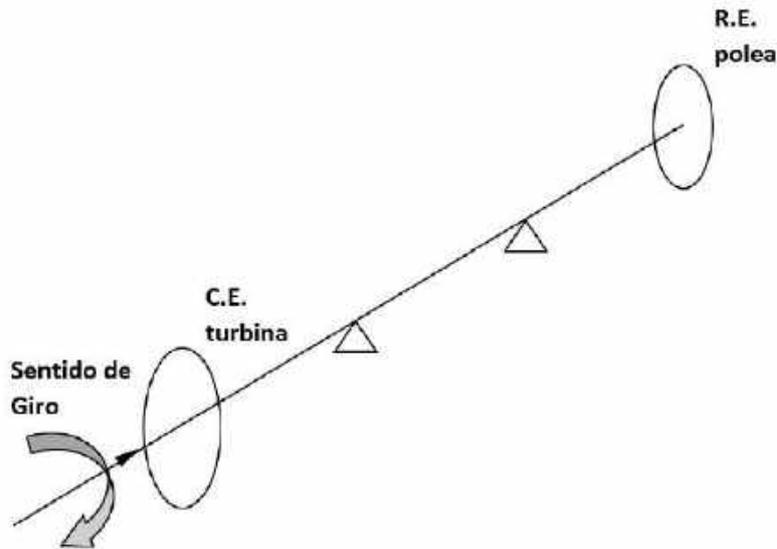
$\rho_b$  = densidad de la banda (Tipo Z 0.115 kg/m)

$$T_c = 0.115 \frac{kg}{m} * (9.3)^2$$

$$T_c = 9.94 N$$

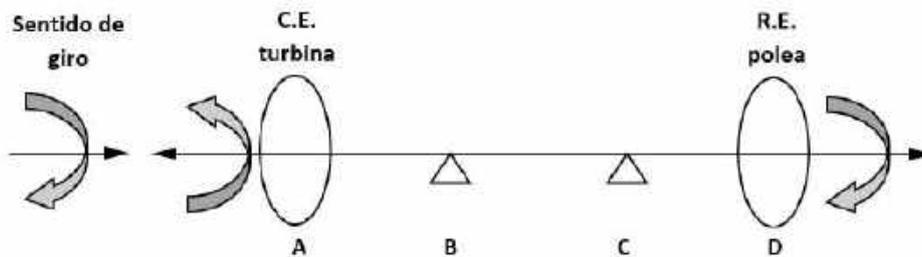
### 3.5.8. Diseño del Árbol de transmisión

**Sentido de giro y recepción de potencia:** Para comenzar el análisis es necesario reconocer el sentido de giro para el funcionamiento adecuado de nuestro molino pulverizador, y detallar los elementos que se tienen montados sobre el eje, y como interactúan con la potencia que se suministra, teniéndose de manera simplificada el modelo que se muestra en la siguiente Ilustración.



**Ilustración 21-3:** Sentido de giro del árbol de transmisión  
Realizado por: (Salazar, M.; Varela, R. 2023)

Mediante esta diferenciación somos capaces de conocer de mejor manera que elementos de nuestro eje son los que comparten energía y que elementos son los que la reciben, con esto se puede determinar de manera adecuada el sentido de cada torque que se tiene en los puntos de interés del elemento.



**Ilustración 22-3:** Transmisión de energía del eje  
Realizado por: (Salazar, M.; Varela, R. 2023)

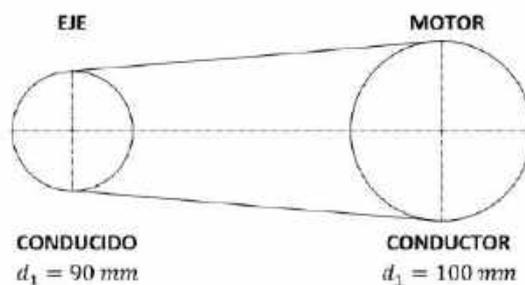
El siguiente valor que se necesita conocer es la potencia en cada uno de los elementos detallados en los esquemas, es decir los puntos A y D, teniéndose los siguientes valores.

$$Potencia\ en\ D \rightarrow Motor\ 3HP = 2.2371\ kN$$

$$Potencia\ en\ A \rightarrow 10\%P\acute{e}rdida = 0.9(3) = 2.7HP = 2.01339\ kW$$

De esta manera tenemos bien definidos tanto la potencia, como el sentido de torque en cada uno de los elementos que soporta nuestro eje.

**Relaci3n de transmisi3n:** Necesitamos establecer de manera adecuada la relaci3n de transmisi3n existente dentro del eje, es decir la relaci3n entre las poleas que transmiten el movimiento del motor al elemento de transmisi3n, as3 como las velocidades de trabajo de cada parte del sistema.



**Ilustraci3n 23-3:** Eje conducido y eje conductor  
Realizado por: (Salazar, M.; Varela, R. 2023)

Con estos par3metros del esquema de las poleas se procede a encontrar la relaci3n de transmisi3n mediante el an3lisis de velocidades y di3metros como se muestra a continuaci3n.

$$i = \frac{N_2}{N_1} = \frac{d_1}{d_2} = \frac{100}{90} = 1.111$$

$$N_1 = 1730\ RPM$$

$$N_2 = N_1(i) = 1730(1.111) = 1922\ RPM$$

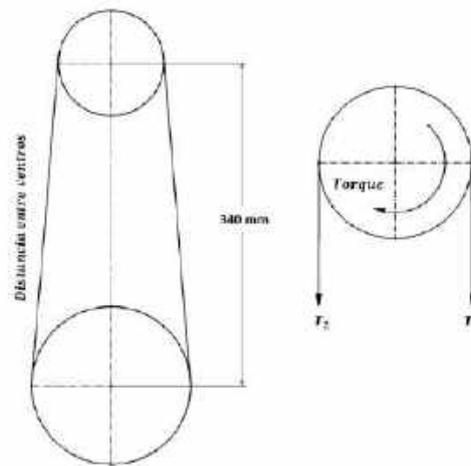
**An3lisis del punto D:** Es necesario conocer el torque existente en el punto D debido a la relaci3n de transmisi3n que se da entre el motor y la polea, para esto se emplea el siguiente an3lisis.

$$T_D = \frac{P_D}{n}$$

$$P_D = 2.01339\ kW$$

$$n = 1922 \text{ RPM} = 201.271 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$$T_D = \frac{2.01339}{201.2713} = 10.003 \text{ Nm}$$



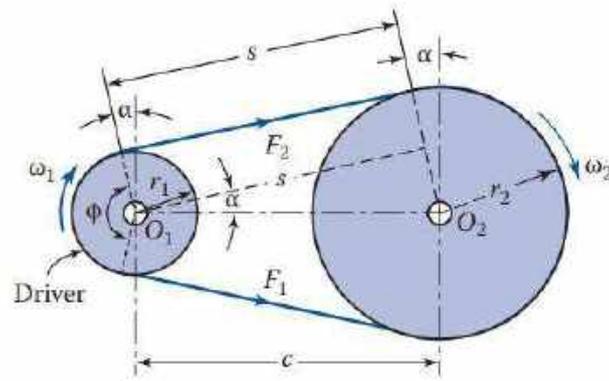
**Ilustración 24-3:** Distancia entre centros  
Realizado por: (Salazar, M.; Varela, R. 2023)

**Polea:** Procedemos a armar el sistema de ecuaciones necesarias para conocer las fuerzas de la polea presente en el elemento de transmisión de la siguiente manera.

$$T_D = (T_1 - T_2) * r$$

$$10.003 = (T_1 - T_2) * 0.09 \rightarrow \text{Ecuación 1}$$

**Angulo de contacto:** Es necesario determinar el ángulo de contacto entre la polea y la correa para poder encontrar la segunda ecuación necesaria para determinar todas las fuerzas existentes dentro del sistema.



**Ilustración 25-3:** Angulo de contacto entre poleas  
Fuente: (Budynas, 2008, p.215)

Comenzamos por hallar el ángulo alfa de nuestro sistema, con el cual seremos capaces de encontrar el ángulo de contacto y podremos resolver el resto de las incógnitas de nuestro sistema como se muestra en la Ilustración.

$$\text{sen}(\alpha) = \frac{r_2 - r_1}{c}$$

$$\text{sen}(\alpha) = \frac{50 - 45}{340} = \frac{1}{68} = 0.015 \text{ rad}$$

$$\phi = \pi - 2 * 0.015 = 3.112 \text{ rad} = 178.3045^\circ$$

Una vez hallado el ángulo de contacto, podemos encontrar la relación de tensiones de nuestro sistema, mediante la siguiente tabla, observamos los valores previstos de dicha tabla e interpolamos para el ángulo de contacto calculado anteriormente.

| Contact Angle, $\phi$ | $F_1/F_2$ | Contact Angle, $\phi$ | $F_1/F_2$ | Contact Angle, $\phi$ | $F_1/F_2$ |
|-----------------------|-----------|-----------------------|-----------|-----------------------|-----------|
| 180°                  | 5.00      | 150°                  | 3.82      | 120°                  | 2.92      |
| 175°                  | 4.78      | 145°                  | 3.66      | 115°                  | 2.80      |
| 170°                  | 4.57      | 140°                  | 3.50      | 110°                  | 2.67      |
| 165°                  | 4.37      | 135°                  | 3.34      | 105°                  | 2.56      |
| 160°                  | 4.18      | 130°                  | 3.20      | 100°                  | 2.44      |
| 155°                  | 4.00      | 125°                  | 3.06      | 90°                   | 2.24      |

**Ilustración 26-3:** Relación entre lado flojo y lado tenso equivalente al ángulo de contacto  
Fuente: (Budynas, 2008, p.215)

$$\text{INTERPOLACION} \rightarrow \frac{T_1}{T_2} = 4.925 \rightarrow \text{Ecuación 2}$$

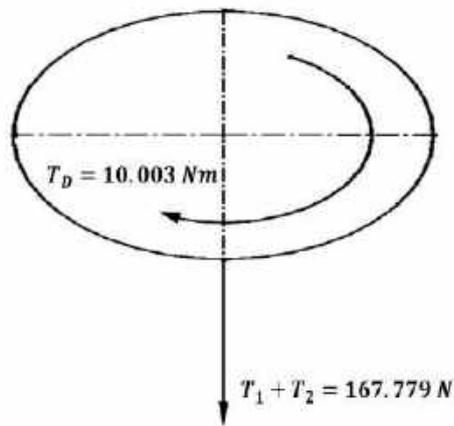
$$T_1 = 4,925T_2$$

$$10.003 = (4.925T_2 - T_2) * 0.09$$

$$T_2 = 28.317 \text{ N}$$

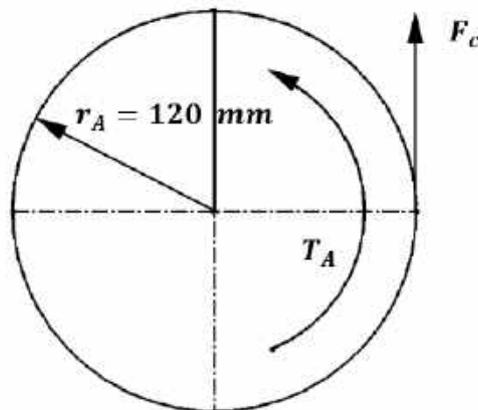
$$T_1 = 139.462 \text{ N}$$

Entonces el sistema simplificado para una fuerza y un torque en la polea para el punto se muestra en la Ilustración 35.7



**Ilustración 27-3:** Fuerzas punto D  
Realizado por: (Salazar, M.; Varela, R. 2023)

**Turbina en el Punto A:** A continuación, analizaremos las fuerzas presentes en el punto A, que es el sitio donde se monta la turbina del molino pulverizador, en este punto es donde sucede todo el proceso de molienda, y por tanto es el sitio en el que actuará la fuerza de corte.



**Ilustración 28-3:** Turbina en el punto A  
Realizado por: (Salazar, M.; Varela, R. 2023)

Necesitamos conocer el valor real de la fuerza de corte actuante en el punto A, y verificar que sea un valor cercano al que hallamos de manera experimental para poder asegurar la veracidad del sistema de transmisión de potencia de la siguiente manera:

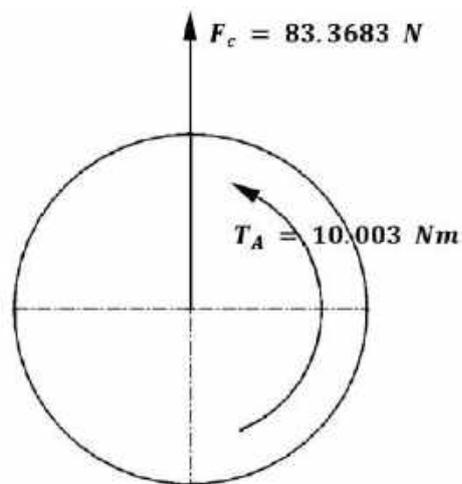
$$T_A = T_C = 10.003 Nm$$

$$T_A = F_c(r)$$

$$F_c = \frac{T_A}{r} = \frac{10.003}{0.120}$$

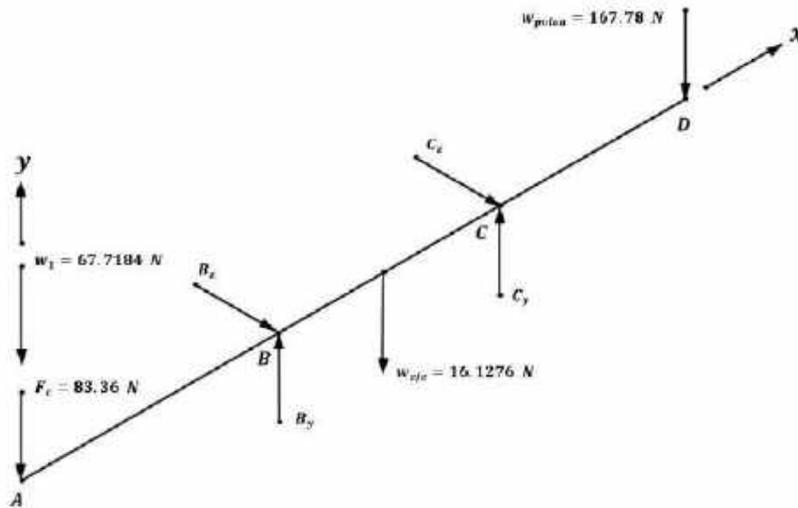
$$F_c = 83.3583 N$$

Entonces se puede verificar las fuerzas actuantes en el punto, quedando la turbina en el punto A con las fuerzas que se muestran en la Ilustración 35.43.



**Ilustración 29-3:** Fuerzas punto C  
Realizado por: (Salazar, M.; Varela, R. 2023)

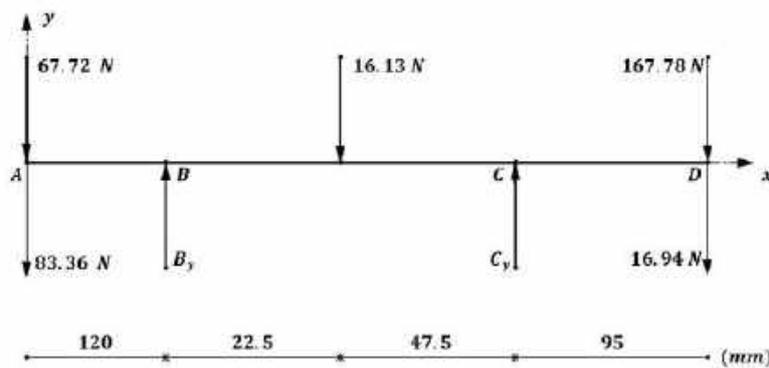
**Determinación de las fuerzas actuantes en el eje:**



**Ilustración 30-3:** Fuerzas actuantes en el eje

Realizado por: (Salazar, M.; Varela, R. 2023)

**Análisis de fuerzas plano XY:**



**Ilustración 31-3:** Análisis de fuerzas en el plano XY

Realizado por: (Salazar, M.; Varela, R. 2023)

Con el diagrama de fuerzas podemos encontrar las reacciones de nuestro sistema.

$$\sum F_y \uparrow^+ = 0$$

$$-67.72 - 83.36 + B_y - 16.13 + C_y - 16.94 - 167.78 = 0$$

$$C_y + B_y = 351.93 \text{ N}$$

$$\sum M_B \curvearrowright^+ = 0$$

$$-120(83.86) - 120(67.72) + 16.13(22.5) - C_y(70) + 16.94(165) + 167.78(165) = 0$$

$$C_y = 181.6018 \text{ N}$$

$$B_y = 170.3282 \text{ N}$$

Las reacciones obtenidas se detallan a continuación:

**Tabla 30-3:** Reacciones de los apoyos

| Punto | Ry [N]   |
|-------|----------|
| B     | 181.6018 |
| C     | 170.3282 |

Realizado por: (Salazar, M.; Varela, R. 2023)

**Análisis del punto crítico:**

- Análisis estático

Para el caso de las máquinas de molienda, es necesario que el material empleado sea el AISI 304 que cumple con las propiedades mecánicas suficientes como para resistir el proceso de molienda y además está aceptado como material de grado alimenticio, por tanto, se expresan sus propiedades principales en la tabla siguiente.

**Tabla 31-3:** Características del material

|                     |            |
|---------------------|------------|
| Dureza              | 212-275 HB |
| Esfuerzo a fluencia | 276        |
| Esfuerzo a tracción | 570        |

Fuente: (Import Aceros, 2022)

Procedemos con el análisis recurriendo a la teoría de Von-Misses de esfuerzos, como se muestra a continuación

$$\frac{S_y}{n} = \sqrt{\sigma_x^2 + 3\tau_x^2}$$

$$\frac{S_y}{n} = \sqrt{\left(\frac{32 * M_{fm}}{\pi * d^3}\right)^2 + 3\left(\frac{16 * T}{\pi * d^3}\right)^2}$$

$$\frac{276}{n} = \sqrt{\left(\frac{32 * 38100.7}{\pi * d^3}\right)^2 + 3\left(\frac{16 * 22900}{\pi * d^3}\right)^2}$$

$$d = 19.93 \text{ mm}$$

- Análisis dinámico

$$M_f = 18.1296 \text{ Nm}$$

$$T = 10.003 \text{ Nm}$$

Por la naturaleza del árbol de transmisión, estos resultados se pueden interpretar como:

**Tabla 32-3:** Resultados de momentos

| Momento | Medio [Nm] | Amplitud [Nm] |
|---------|------------|---------------|
| Flector | 0          | 18,1296       |
| Torsor  | 10.003     | 0             |

Realizado por: (Salazar, M.; Varela, R. 2023)

De esta manera, se puede aplicar la ecuación ASME B106.1 M para el diseño de árboles de transmisión para estimar el diámetro del eje:

$$d = \left\{ \frac{16n}{\pi} \left[ 4 \left( \frac{K_f M_a}{S_e} \right)^2 + 3 \left( \frac{K_{fs} T_a}{S_e} \right)^2 + 4 \left( \frac{K_f M_m}{S_y} \right)^2 + 3 \left( \frac{K_{fs} T_m}{S_y} \right)^2 \right]^{1/2} \right\}^{1/3}$$

En una primera iteración se asumen valores de:

$$K_f = 1.6$$

$$K_{fs} = 1.4$$

Acero AISI 304

$$S_y = 241 \text{ MPa}$$

$$S_{ut} = 586 \text{ MPa}$$

$$S_e' = 0.5 S_{ut} = 0.5(586) = 293 \text{ MPa}$$

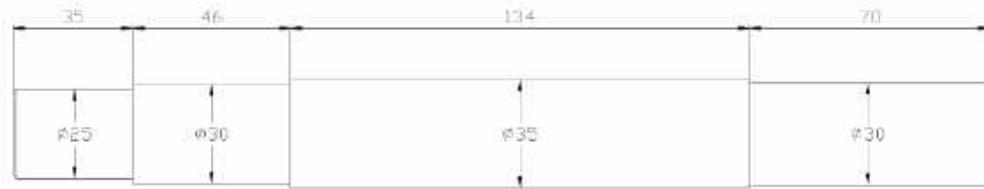
Asumiendo un coeficiente de Marín:  $K = 0.6$

$$S_e = K S_e' = 0.6(293) = 175.8 \text{ MPa}$$

$$d = \left\{ \frac{16(3)}{\pi} \left[ 4 \left( \frac{1.6(703058)}{175.8} \right)^2 + 3 \left( \frac{1.4(596835)}{390} \right)^2 \right]^{1/2} \right\}^{1/3}$$

$$d = 20.765 \text{ mm}$$

### Dimensionamiento del Árbol de transmisión:



#### **Ilustración 32-3:** Dimensionamiento preliminar del árbol de transmisión

Realizado por: (Salazar, M.; Varela, R. 2023)

A partir de los valores obtenidos en las iteraciones anteriores, se pre dimensiona el eje, para lo cual se pre disponen los diámetros mostrados en la Ilustración para cada una de las secciones de interés, una particularidad a considerar dentro de un prediseño resulta en expresar valores de diámetros en múltiplos, esto debido al empleo de elementos estandarizados como rodamientos en las secciones indicadas, la dimensión longitudinal resultante del eje es de 285 mm, siendo el diámetro mayor de 35 mm y el menor de 25 mm.

#### 3.5.8.1. Diseño por resistencia mecánica

Para esta verificación se procede a calcular nuevamente el factor de seguridad esta vez sin asunciones.

Para la definición de  $Se$  se calcula el coeficiente de Marín.

$$Se = Ka \cdot Kb \cdot Kc \cdot Kd \cdot Kg \cdot Se'$$

- Factor de superficie  $Ka = 0.89$  para rectificado fino.
- Factor de tamaño  $Kb$

Flexión giratoria:  $de = d = 35mm$

$$Kb = 0.879 \cdot 35^{-0.107} = 0.849$$

- Factor de confiabilidad: Confiabilidad del 99%  $Kc = 0.814$
- Factor de Temperatura considerando una temperatura máxima de operación permisible de  $80^{\circ}C$  se tiene que:  $Kd = 1.016$

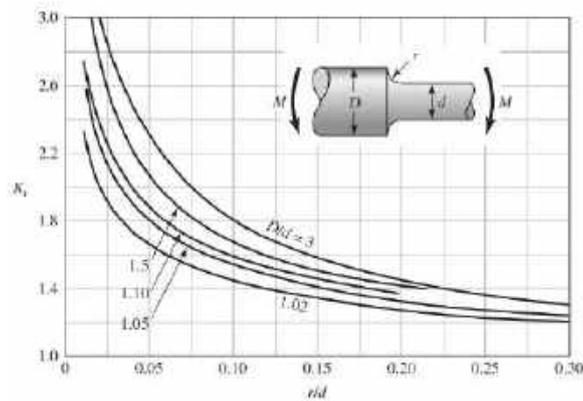
Teniendo así que  $K = 0.89 \cdot 0.849 \cdot 0.814 \cdot 1.016 = 0.61$

$$Se = 0.61 \cdot 0.5 \cdot 570 = 173.85Mpa$$

Cálculo de concentradores de esfuerzo.

Para esto se asume un radio de muesca de 3 mm.

$$K_f = q \cdot (K_t - 1) + 1$$



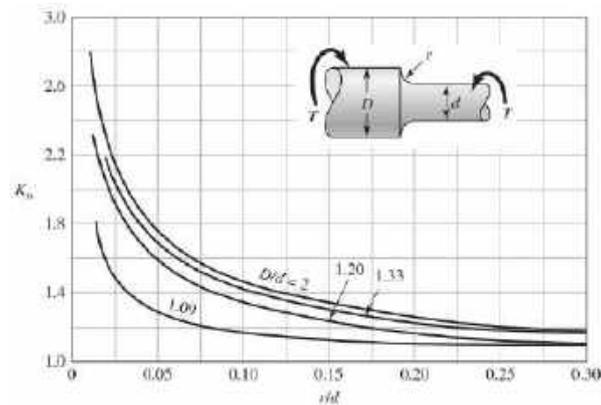
**Ilustración 33-3:** Giro debido al momento flector  
**Fuente:** (Budynas, 2008, p.426)

$$\frac{r}{d} = \frac{3}{35} = 0.08$$

$$\frac{D}{d} = \frac{35}{30} = 1.17$$

$$K_t = 1.7$$

$$K_f = 0.9 \cdot (1.7 - 1) + 1 = 1.63$$



**Ilustración 34-3:** Giro debido al momento Torsor  
**Fuente:** (Budynas, 2008, p.426)

$$K_f = 0.9 \cdot (1.4 - 1) + 1 = 1.36$$

Se recalcula el factor de seguridad n, haciendo uso de la ecuación ASME:

$$\frac{1}{n} = \frac{16}{\pi \cdot d^3} \left[ 4 \left( K_f \cdot \frac{M_a}{S_e} \right)^2 + 3 \cdot \left( K_{fs} \cdot \frac{T_a}{S_e} \right)^2 + 4 \cdot \left( K_f \cdot \frac{M_m}{S_y} \right)^2 + 3 \cdot \left( K_{fs} \cdot \frac{T_m}{S_y} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$\frac{1}{n} = \frac{16}{\pi \cdot 35^3} \left[ 4 \left( 1.63 \cdot \frac{195802.5}{173.85} \right)^2 + 3 \cdot \left( 1.36 \cdot \frac{106005}{310} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$n = 2.2$$

Al ser superior al factor superior asumido inicialmente se considera adecuado desde el punto de vista resistente.

### 3.5.8.2. Análisis de rigidez

Para poder obtener la deflexión máxima en cualquier árbol de transmisión, necesitamos determinar la resistencia permisible y, que soporta un árbol bajo las configuraciones predeterminadas, por tanto, para este valor se tiene un rango permisible de  $[y] = (0.0002 - 0.0003)L$ , donde L se considera la distancia entre los apoyos, esto según el criterio de Ivanov, para arboles de distintas aplicaciones, esta tabla presenta además, la deformación angular permisible debida a flexión para los asientos de rodamientos rígidos de bolas, la cual para este caso es de  $\theta = 0.01 \text{ rad}$ .

**Tabla 33-3:** Deflexiones máximas permisibles

| Deformación                            | Aplicación   | Deformación permisible  |
|--|--|---|
| Deflexión debida a flexión [y]         | Deflexión máxima en árboles que soportan ruedas dentadas           | $[y] = (0.0002-0.0003)L$ , donde L es la distancia entre los apoyos |
|  | En el lugar en que se asientan ruedas dentadas cilíndricas         | $[y] = (0.01-0.03)m$ , donde m es el módulo de la transmisión       |
|  | En el lugar en que se asientan ruedas cónicas e hipoidales         | $[y] = (0.005-0.007)m$ , donde m es el módulo de la transmisión     |
|  | Deflexión máxima en arboles de motores asíncronos                  | $[y] = 0.01h$ , donde h es la holgura entre el motor y el estator   |
|  | Deflexión máxima en arboles de ventiladores                        | $[y] = (0.0003-0.0005)D$ , donde D es el diámetro del motor         |
| Deflexión angular debida a flexión [θ] | En el lugar en que se asientan ruedas dentadas                     | $[\theta] = 0.001 \text{ rad}$                                      |
|  | En un cojinete   | $[\theta] = 0.001 \text{ rad}$                                      |
|  | En el lugar en que se asientan de rodamientos de bolas             | $[\theta] = 0.01 \text{ rad}$                                       |
|  | En el lugar en que se asientan rodamientos de rodillos cilíndricos | $[\theta] = 0.025 \text{ rad}$                                      |
|  | En el lugar en que se asientan rodamientos cónicos                 | $[\theta] = 0.0016 \text{ rad}$                                     |

|  |  |                               |
|--|--|-------------------------------|
|  | En el lugar en que se asientan rodamientos esféricos | $[\theta] = 0.05 \text{ rad}$ |
|--|--|-------------------------------|

Fuente: (Ivanov, 1984)

Por tal motivo, se empleará el mayor de los valores que se tiene dentro del rango permisible detallado anteriormente, es decir,  $0.0003L$ , por tanto, observamos la deformación permisible:

$$y = 0.0003(70) = 0.021 \text{ mm}$$

Necesitamos evaluar este valor con la deflexión máxima que se tiene dentro del árbol de transmisión, para esto necesitamos conocer las deformaciones en cada punto y determinar la de mayor influencia, esto se logra mediante el software SAP 2000, con el cual se puede obtener el siguiente valor de deformación máxima, todos los valores de deformación se encuentran detallados en el Anexo J.

**Tabla 34-3:** Deformaciones en el árbol de transmisión

| DEFORMACIONES EN EL ARBOL DE TRANSMISIÓN |                              |                                |
|--|------------------------------|--------------------------------|
| Punto A                                  | $\delta = 0.0132 \text{ mm}$ | $\theta = 0.00016 \text{ rad}$ |
| Punto B                                  | $\delta = 0 \text{ mm}$      | $\theta = 0.00004 \text{ rad}$ |
| Punto C                                  | $\delta = 0 \text{ mm}$      | $\theta = 0.00004 \text{ rad}$ |
| Punto D                                  | $\delta = 0.0091 \text{ mm}$ | $\theta = 0.00012 \text{ rad}$ |

Realizado por: (Salazar, M.; Varela, R. 2023)

Notamos que en ninguno de los casos se excede la deformación máxima permitida encontrada anteriormente, y para el caso de los asientos de los rodamientos rígidos de bolas, también observamos que la deflexión angular permisible tampoco se ve superada, por lo cual podemos asegurar con certeza, que el árbol se desempeñará correctamente por rigidez.

### 3.5.8.1. Análisis de resonancia

Cualquier elemento de transmisión de tipo árbol, se deforma durante su servicio rotativo, por esto es necesario observar cuales son los valores máximos que se pueden observar dentro de las velocidades críticas de su servicio, esto con el fin de obtener estas velocidades, para lo cual existen dos procedimientos distintos usuales, el método de Dunkerley y el método de Rayleigh-Ritz.

- Método de Dunkerley

Este método estima una velocidad crítica del árbol de transmisión mediante las siguientes ecuaciones.

$$\eta_i = \frac{30}{\pi} \sqrt{\frac{g}{\delta_i}}$$

$$\frac{1}{W_{crit}^2} = \sum \frac{1}{\eta_i^2} = \frac{1}{\eta_1^2} + \frac{1}{\eta_2^2} + \frac{1}{\eta_3^2} + \dots + \frac{1}{\eta_i^2}$$

Donde:

$\eta_i$  = Velocidad crítica en el punto (rpm)

$\delta_i$  = deformación en el punto (m)

$W_{crit}$  = velocidad crítica del árbol de transmisión (rpm)

$g$  = gravedad  $9.8 \frac{m}{s^2}$

- Método de Rayleigh-Ritz

Este método estima una velocidad crítica del árbol de transmisión mediante la siguiente ecuación.

$$W_{crit} = \frac{30}{\pi} \sqrt{\frac{g \sum W_i \delta_i}{\sum W_i \delta_i^2}} = \frac{30}{\pi} \sqrt{\frac{g(W_1 \delta_1 + W_2 \delta_2 + \dots + W_i \delta_i)}{W_1 \delta_1^2 + W_2 \delta_2^2 + \dots + W_i \delta_i^2}}$$

Donde:

$W_{crit}$  = Velocidad crítica del árbol de transmisión

$g$  = gravedad  $9.8 \frac{m}{s^2}$

$W_i$  = Peso del elemento en el punto

$\delta_i$  = Deflexión en el punto

- Obtención de la velocidad crítica por el método de Dunkerley

Comenzamos el análisis con la velocidad debida al peso propio del árbol de transmisión:

$$\eta_1 = \frac{30}{\pi} \sqrt{\frac{9810}{0.0002}} = 66879.172RPM$$

Debido al peso de la polea se obtiene:

$$\eta_2 = \frac{30}{\pi} \sqrt{\frac{9810}{0.0004}} = 47290.716RPM$$

Debido al peso de la turbina se obtiene:

$$\eta_3 = \frac{30}{\pi} \sqrt{\frac{9810}{0.0054}} = 12870.903RPM$$

Con estos valores obtenemos la velocidad crítica de acuerdo con Dunkerley

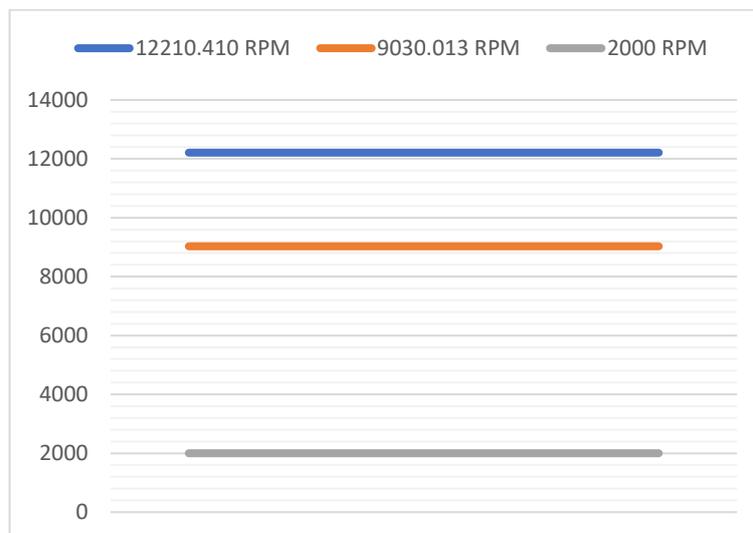
$$\frac{1}{W_{crit}^2} = \frac{1}{66879.172^2} + \frac{1}{47290.716^2} + \frac{1}{12870.903^2} = 12210.410RPM$$

Obtención de la velocidad crítica por el método de Rayleigh Ritz

A continuación, reemplazamos las deformaciones producidas en cada punto, así como los pesos puntuales de los mismos dentro de la ecuación expresada en el apartado anterior.

$$W_{crit} = \frac{30}{\pi} \sqrt{\frac{9810[(67.7184)(0.0055) + (16.1276)(0.0002) + (167.78)(0.0012)]}{(67.7184)(0.0055)^2 + (16.1276)(0.0002)^2 + (167.78)(0.0012)^2}}$$

$$W_{crit} = 9030.013 \text{ RPM}$$

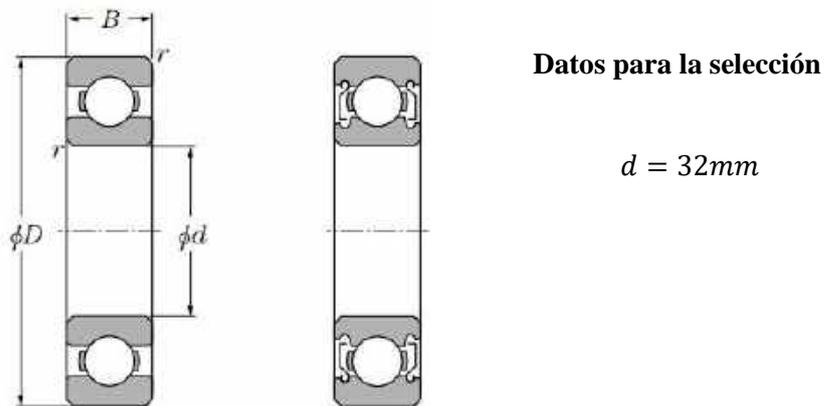


**Ilustración 35-3:** Rango de resonancia del árbol de transmisión  
Realizado por: (Salazar, M.; Varela, R. 2023)

Observamos que los valores en los cuales el eje entrará en resonancia son lejanos a la máxima velocidad del eje, que es de 2000 RPM, por lo cual podemos concluir que el eje no sufrirá cargas debidas a fenómenos vibratorios durante su funcionamiento.

### 3.5.9. Selección de rodamientos

Para poder seleccionar de manera adecuada los elementos rodantes de nuestro sistema de transmisión de potencia es necesario detallar las cargas bajo las que se encuentran sometidos estos elementos durante la carga de trabajo normal de los mismos, en este caso, estos valores corresponden a las reacciones que presentan en los soportes del árbol de transmisión, el cual posee dos rodamientos alineados como empotramiento permanente.



**Ilustración 36-3:** Geometría del rodamiento rígido de bolas  
Fuente: (NTN Corporation, 2004, p.426)

Para escoger estos elementos, emplearemos el catálogo de la empresa fabricante de elementos rodantes NTN Corp. Que requiere como datos de entrada de manera principal, la vida nominal, el factor de vida y velocidad.

$$L_{10} = 500 * f_h^3$$

$$f_h = f_n * \frac{C}{P}$$

$$f_n = \left(\frac{33.3}{n}\right)^{\frac{1}{3}}$$

Donde:

- $L_{10}$  = Vida nominal (horas)
- $C$  = Capacidad de carga dinámica (N)
- $P$  = Carga dinámica (N)
- $n$  = Velocidad de rotación (RPM)
- $f_h$  = Factor de vida
- $f_n$  = Factor de velocidad

$$f_n = \left(\frac{33.3}{2000}\right)^{\frac{1}{3}} = 0.255$$

A continuación, establecemos 10000 horas de vida dadas las condiciones de operabilidad que se tienen para un pulverizador con las características requeridas por la industria.

$$L_{10} = 500 * f_h^3$$

$$f_h = \left(\frac{10000}{500}\right)^{\frac{1}{3}} = 2.7144$$

Con lo cual podemos obtener la capacidad dinámica C:

$$C = \frac{2.88}{0.255} * 181.61N = 2.051KN$$

Con este dato procedemos a buscar dentro del catálogo un rodamiento que cumpla con la capacidad dinámica que se requiere, seleccionando en este caso el rodamiento 60/32 ZZ con tapas a ambos lados, debido a que tiene una capacidad de 11.8 KN, esto con una configuración de dos rodamientos para poder brindar estabilidad al árbol de transmisión y soportar las cargas solicitadas, además de la facilidad que otorga esta configuración dentro del bastidor de la máquina.

|           | Dimensiones principales |    |     |                               | Capacidades básicas de carga |                |                |                | Factor | Velocidades límites |                    |                     |       | Números de rodamientos |              |            |                       |                     |                       |
|-----------|-------------------------|----|-----|-------------------------------|------------------------------|----------------|----------------|----------------|--------|---------------------|--------------------|---------------------|-------|------------------------|--------------|------------|-----------------------|---------------------|-----------------------|
|           | mm                      |    |     |                               | kN                           |                | kgf            |                |        | f                   | r.p.m.             |                     |       |                        | tipo abierto | con tapas  | con sello de contacto | con sello de torque | con sello de contacto |
|           | d                       | D  | B   | r <sub>ms</sub> <sup>1)</sup> | C <sub>d</sub>               | C <sub>s</sub> | C <sub>d</sub> | C <sub>s</sub> |        |                     | grasa tipo abierto | aceite tipo abierto | LLH   | LLU                    |              |            |                       |                     |                       |
| <b>32</b> | 58                      | 13 | 1   | 0.5                           | 11.8                         | 6.05           | 1 200          | 820            | 15.4   | 12 000              | 15 000             | 6 700               | 7 200 | <b>60/32</b>           | <b>ZZ</b>    | <b>LLB</b> | <b>LLH</b>            | <b>LLU</b>          |                       |
|           | 65                      | 17 | 1   | 0.5                           | 20.7                         | 11.6           | 2 110          | 1 190          | 13.8   | 11 000              | 12 000             | 6 400               | 7 100 | 62/32                  | ZZ           | LLB        | LLH                   | LLU                 |                       |
|           | 75                      | 20 | 1.1 | 0.5                           | 29.8                         | 16.9           | 3 050          | 1 730          | 13.1   | 9 500               | 11 000             | 7 700               | 6 500 | 63/32                  | ZZ           | LLB        | LLH                   | LLU                 |                       |

**Ilustración 37-3:** Selección del rodamiento rígido de bolas

Fuente: (NTN Corporation, 2004, p.426)

Realizado por: (Salazar, M.; Varela, R. 2023)

A continuación, necesitamos calcular la carga radial que soporta el sistema.

$$P = xF_r + yF_a$$

| $\frac{f_o \cdot F_a}{C_{or}}$ | $e$  | $\frac{F_a}{F_r} \leq e$ |   | $\frac{F_a}{F_r} > e$ |      |
|--------------------------------|------|--------------------------|---|-----------------------|------|
|                                |      | X                        | Y | X                     | Y    |
| 0.172                          | 0.19 |                          |   |                       | 2.30 |
| 0.345                          | 0.22 |                          |   |                       | 1.99 |
| 0.689                          | 0.26 |                          |   |                       | 1.71 |
| 1.03                           | 0.28 |                          |   |                       | 1.55 |
| 1.38                           | 0.30 | 1                        | 0 | 0.56                  | 1.45 |
| 2.07                           | 0.34 |                          |   |                       | 1.31 |
| 3.45                           | 0.38 |                          |   |                       | 1.15 |
| 5.17                           | 0.42 |                          |   |                       | 1.04 |
| 6.89                           | 0.44 |                          |   |                       | 1.00 |

**Ilustración 38-3:** Carga radial del rodamiento  
Fuente: (NTN Corporation, 2004, p.426)

Con la ayuda de la tabla detallada anteriormente se determinan los factores X e Y, para esto necesitamos, además el valor de la fuerza axial, que en este caso es equivalente a 113.5 N sobre el rodamiento.

$$\frac{f_o * F_a}{C_{or}} = \frac{15.4 * 0.1135}{8.05} = 0.2171$$

Interpolamos entre los valores de 0.172 y 0.345

**Tabla 35-3:** Obtención del valor del espesor e

|        |      |
|--------|------|
| 0.172  | 0.19 |
| 0.2171 | e    |
| 0.345  | 0.22 |

Realizado por: (Salazar, M.; Varela, R. 2023)

$$y_x = y_o + \frac{y_1 - y_o}{x_1 - x_o} (x - x_o)$$

$$e = y_{0.2171} = 0.19 + \frac{0.22 - 0.19}{0.345 - 0.172} (0.2171 - 0.172) = 0.198$$

$$\frac{F_a}{F_r} = \frac{113.5}{181.61} = 0.624$$

Debido a que  $\frac{F_a}{F_r} = 0.624 > e$ , el valor de  $x=0.56$  y tenemos que interpolar el valor de  $y$   
 Interpolamos entre los valores de 1.38 y 2.07

**Tabla 36-3:** Obtención del valor del factor Y

|        |      |
|--------|------|
| 0.172  | 1.45 |
| 0.2171 | Y    |
| 0.345  | 1.31 |

**Realizado por:** (Salazar, M.; Varela, R. 2023)

$$y_x = y_o + \frac{y_1 - y_o}{x_1 - x_o} (x - x_o)$$

$$y_{0.2086} = 1.45 + \frac{1.31 - 1.45}{0.345 - 0.172} (0.2171 - 0.172) = 1.413$$

Por tanto:

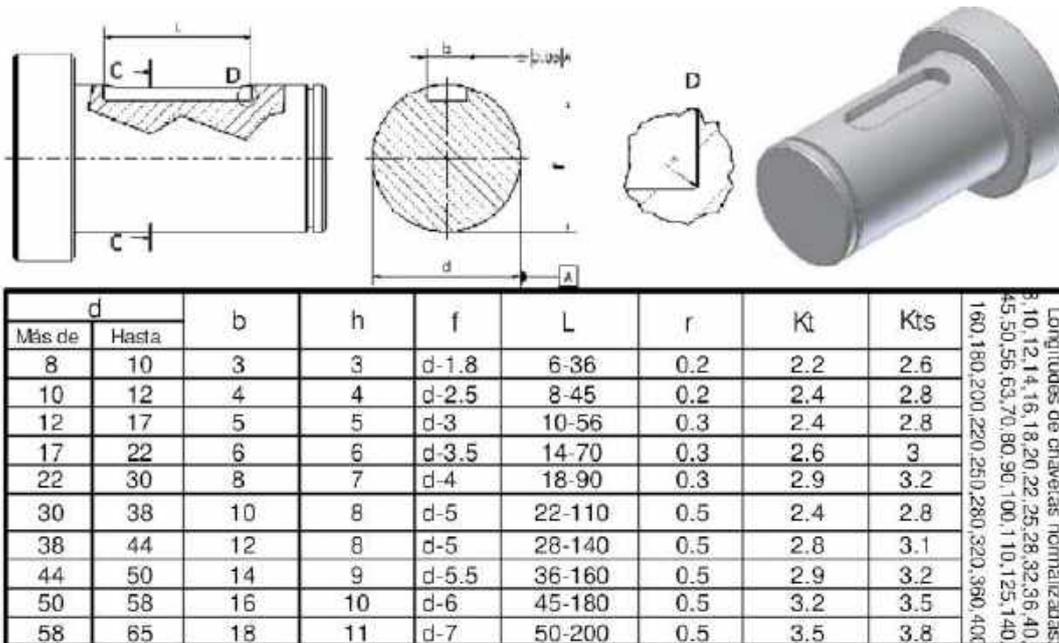
$$P = xF_r + yF_a$$

$$P = 0.56 * 181.61 + 1.413 * 113.5 = 262.0771$$

Con esto ratificamos los rodamientos seleccionados para el árbol de transmisión.

### **3.5.10. Dimensionamiento de la chaveta**

Empleamos el método detallado por Juan M. Marín en su libro de diseño de máquinas, en la cual se tienen valores estandarizados de espesores, dimensiones y profundidades de los elementos de fijación tipo chaveta en concordancia según la DIN 6885-1 con el diámetro del árbol que se requiera instalar.



**Ilustración 39-3:** Dimensiones de chavetas normalizadas bajo norma DIN 6885-1

Fuente: (DIN 6885, 2009)

Con estos parámetros somos capaces de partir nuestro análisis mediante longitudes normalizadas, la parte a considerar para la correcta selección de la lo tanto, es la parte sustancial de elemento de tipo chaveta que se instala en el árbol con el objetivo de prevenir el desalineamiento y promover una operación adecuada bajo las cargas solicitadas, esto al unir el árbol de transmisión con los elementos de molienda, por tanto se define una longitud de 25 mm para la parte del motor, y de 45 mm para la turbina de molienda.

Para el material de mecanizado de las chavetas es necesario emplear un material de características mecánicas similares al material, o características austeras al mismo, debido a que con esto se previene el desgaste de la base y permite a su vez que el elemento tipo chaveta se presente como un fusible mecánico para el caso en el que el sistema presente cargas de impacto mayores a las cargas de diseño, o fenómenos vibratorios ajenos a las cargas de trabajo de la máquina y para los cuales no se diseñó el eje.

Para poder diseñar una chaveta es necesario conocer los esfuerzos principales a los que se encuentran sometidos estos tipos de elementos, y obtener un factor de seguridad adecuado para el funcionamiento de estos, el análisis más adecuado toma en cuenta el esfuerzo por aplastamiento y el esfuerzo por corte, que son los principales esfuerzos para estas configuraciones, a continuación, se realizan los cálculos para cada esfuerzo de las chavetas presentes en el elemento.

- Esfuerzo de aplastamiento

$$\sigma_A = \frac{F}{A} = \frac{F}{l * \left(\frac{h}{2}\right)} = \frac{S_y}{n}$$

Donde:

$\sigma_A$  = Esfuerzo de aplastamiento

$F$  = Fuerza debida al momento torsor del árbol

$h$  = Altura de la chaveta

$l$  = Longitud de la chaveta

$n$  = Factor de seguridad

Realizamos el análisis tanto para la chaveta que se encuentra en la polea, como para la parte de la turbina de molienda.

$$\frac{333.43 \text{ N}}{45 \text{ mm} * \left(\frac{7}{2} \text{ mm}\right)} = \frac{276 \text{ MPa}}{n_p}$$

$$n_p = 130.37$$

Repetimos el cálculo para la chaveta de la turbina:

$$\frac{344.931 \text{ N}}{25 \text{ mm} * \left(\frac{7}{2} \text{ mm}\right)} = \frac{276 \text{ MPa}}{n_t}$$

$$n_t = 70.01$$

- Esfuerzo de corte

$$\tau_p = \frac{F}{A} = \frac{F}{b * (l - b) + \frac{\pi}{4} * b^2}$$

$$\tau_p = \frac{333.43 \text{ N}}{8 \text{ mm} * (45 - 8) + \frac{\pi}{4} * 8^2} = 0.9629$$

$$\tau_{c-polea} = \sqrt{3} \tau = \frac{S_y}{n}$$

$$\sqrt{3}(0.9629) \frac{N}{\text{mm}^2} = \frac{276 \text{ MPa}}{n_p}$$

$$n_p = 165.88$$

Repetimos el cálculo para la chaveta de la turbina:

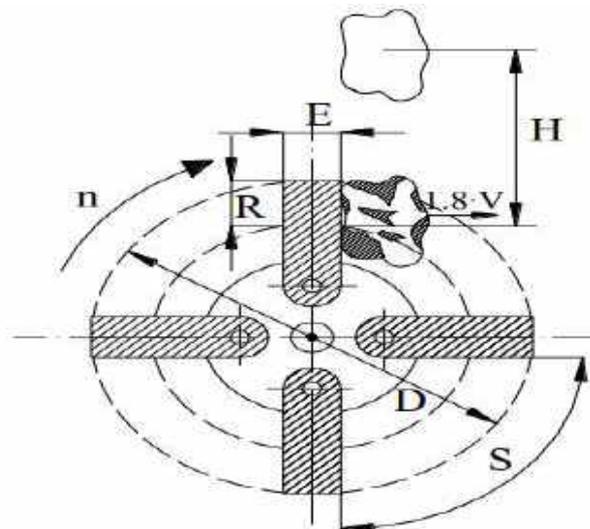
$$\tau_t = \frac{344.931 \text{ N}}{8 \text{ mm} * (25 - 8) + \frac{\pi}{4} * 8^2} = 1.851$$

$$\tau_{c-turbina} = \sqrt{3} \tau = \frac{S_y}{n}$$

$$\sqrt{3}(1.851) \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = \frac{276 \text{ MPa}}{n_t}$$

$$n_t = 86.087$$

### 3.5.11. Cálculo de la altura de alimentación



**Ilustración 40-3:** Parámetros de la altura de alimentación

Fuente: (Bhandari, 2013)

- R: Penetración ideal = 1/2 altura del percutor.
- D: Diámetro exterior de la trayectoria del percutor.
- n: RPM.
- t: Tiempo transcurrido entre el paso de dos percutores consecutivos.
- S: Separación entre percutores.
- E: Ancho del martillo o percutor.

$$H = \frac{V^2}{2 \cdot g} \cdot C = \frac{(R \cdot \pi \cdot D \cdot n \cdot N)^2}{3600 \cdot (\pi \cdot D - N \cdot E)^2 \cdot 2 \cdot g} \cdot C$$

Dónde:

- $H$ : Altura de alimentación
- $R$ : Radio de penetración =  $\frac{1}{2}$  de altura del percutor
- $D$ : Diámetro exterior de la trayectoria del percutor
- $n$ : Velocidad angular (rpm)
- $N$ : Número de percutores
- $E$ : Ancho del percutor
- $S$ : Separación entre percutores
- $C$ : Coeficiente de caída (1 para caída libre o 1.7 para alimentación con un plano inclinado de  $45^\circ$ )

$$H = \frac{V^2}{2 \cdot g} \cdot C = \frac{(R \cdot \pi \cdot D \cdot n \cdot N)^2}{3600 \cdot (\pi \cdot D - N \cdot E)^2 \cdot 2 \cdot g} \cdot C$$

$$H = \frac{(0.1 \cdot \pi \cdot 0.35 \cdot 480 \cdot 4)^2}{3600 \cdot (\pi \cdot 0.35 - 4 \cdot 0.09)^2 \cdot 2 \cdot 9.81} \cdot 1$$

Asumiendo  $n = 480$  rpm

$$H = 1.154 \text{ m}$$

A continuación, se tiene el cálculo de la separación entre percutores donde se tienen que tomar en cuenta las siguientes variables.

- Longitud de la circunferencia:  $D \cdot \pi$
- Con  $N$  percutores se cumple que:  $D \cdot \pi / N$
- Donde  $S$  será:

$$S = s' - \frac{E}{2} - \frac{E}{2} = s' - E = \frac{D \cdot \pi}{N} - E = \frac{D \cdot \pi - N \cdot E}{N}$$

$$S = \frac{D \cdot \pi - N \cdot E}{N}$$

$$S = \frac{350\pi - 4(90)}{4}$$

$$S = 184.889 \text{ mm}$$

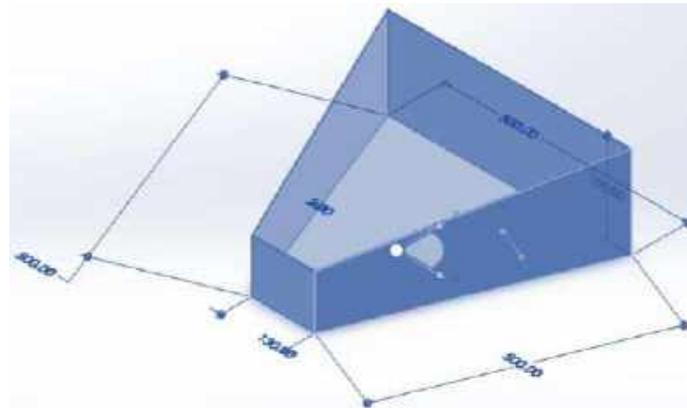
### 3.5.12. Diseño de la tolva de alimentación

**Material de la tolva de alimentación:** Debido al requerimiento alimenticio del diseño, para lo tolva se empleará acero inoxidable AISI 304, debido a sus buenas prestaciones en este rubro, y su amplia acogida en el sector industrial de alimentos, además brinda ventajas

considerables tanto en el maquinado como en las juntas soldadas. Posee grandes cualidades anticorrosivas, pudiendo trabajar en varios tipos de ambientes incluyéndose la industria petrolera, las maquinas a vapor y las que funcionan con combustión de gas.

Cálculo de la capacidad de la tolva

La materia prima entrará en la tolva en presentaciones es de 6 mm de espesor, con un diámetro aproximado de 20 mm, el cual es variable dependiendo del producto que se vaya a triturar, según estas consideraciones se ha propuesto la siguiente geometría de la tolva.



**Ilustración 41-3:** Dimensiones de la tolva de alimentación  
Realizado por: (Salazar, M.; Varela, R. 2023)

Donde

- Altura (h) 19 cm
- Ancho superior (a) 50 cm
- Ancho inferior (a') 13 cm
- Profundidad superior (b) 19 cm
- Profundidad inferior (b') 13 cm

Se sustituyen los valores en la ecuación y se tiene que.

$$V = \frac{h}{6} [(2a + a')b + (2a' + a)b']$$
$$V = \frac{19}{6} [(2(50) + 13)19 + (2(13) + 50)13] = 9927.5 \text{ cm}^3 = 0.01 \text{ m}^3$$

**Peso del material que entrará por la tolva:** Se tiene que el producto ingresado tiene un espesor aproximado de 6 mm y un diámetro promedio de 20 mm, por lo que se calcula el volumen aproximado de cada pieza.

$$V_{mpu} = \pi r^2 e = \pi(10)^2(6) = 1884.95 \text{ mm}^3 = 1.884 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

Esto se multiplica por la cantidad de pedazos aproximado que entrará en la tolva.

$$\text{Número de ingreso} = 650$$

$$V_{mp} = 1.884 \times 10^{-6}(650) = 0.012246 \text{ m}^3 = 12246$$

En la tolva entra un aproximado de 0.012 m3 de materia prima, lo cual es un volumen menor que la capacidad máxima de la tolva (0.01 m3)

Se calcula la masa del material a pulverizar

$$\rho_{mp} = 1.2 \frac{g}{\text{cm}^3}$$

$$m_{mp} = V\rho = 12246(1.2) = 14695.2g = 14.695Kg$$

Se multiplica por la aceleración gravitacional para obtener el peso total del material en la tolva.

$$P_{mp} = m_{mp}g = 14.695(9.81) = 144.158N$$

**Cálculo del espesor de la tolva:** Se empleará la teoría de cálculo de espesor para placas rectangulares para elementos sometidos a presión interna.

La presión media (W), se puede encontrar asumiendo una presión uniformemente distribuida en la placa.

$$W_m = Pr_m = \rho gh$$

Donde:

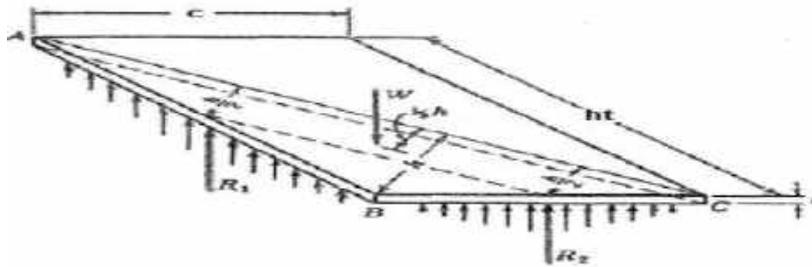
- Pr media: Presión en el punto medio de la placa (N/m2)

- P: Densidad de materia prima (m/s<sup>2</sup>)
- g: Aceleración de la gravedad 9.81 (m/s<sup>2</sup>)
- H: Altura media de la placa a ser analizada

$$w_m = Pr_m = 1200(9.81)(0.19) = 2236.68Pa$$

Se estudian dos casos:

**Caso A:** Placas con bordes simplemente apoyados.



**Ilustración 42-3:** Placa con bordes de apoyo simple

Fuente: (Bhandari, 2013)

El esfuerzo máximo en la placa se halla en sus ejes diagonales.

$$S = \frac{1}{2} \cdot \frac{h_t^2}{h_t^2 + c^2} \cdot \frac{wc^2}{t^2}$$

Donde:

- S: Esfuerzo de trabajo realizado en la placa (Pa)
- T: Espesor de placa (m)
- W: Carga distribuida por unidad de área determinada (Pa)
- ht: Longitud del lado mayor de la placa (m)
- c: Longitud del lado menor de la placa (m)

$$S = \frac{1}{2} \cdot \frac{0.5^2}{0.5^2 + 0.13^2} \cdot \frac{2236.68(0.13)^2}{t^2}$$

$$S = \frac{17.7}{t^2}$$

Nos basamos en el criterio que el esfuerzo admisible, no debe rebasar el esfuerzo calculado, siendo el siguiente:

$$\sigma_{adm} = (0.65)S_y$$

Si se selecciona un acero AISI 304  $S_y=214$  Mpa

Comercialmente las chapas de acero inoxidable vienen en espesores de 0.4 hasta 10 mm, Se selecciona una chapa de 2 mm debido a que es un material de fácil acceso en el país, y tiene características favorables para los procesos de soldadura.

$$S \leq \sigma_{adm} \rightarrow \text{es adecuado}$$

$$S = \frac{17.7}{0.002^2} = 4.425 \text{ MPa}$$

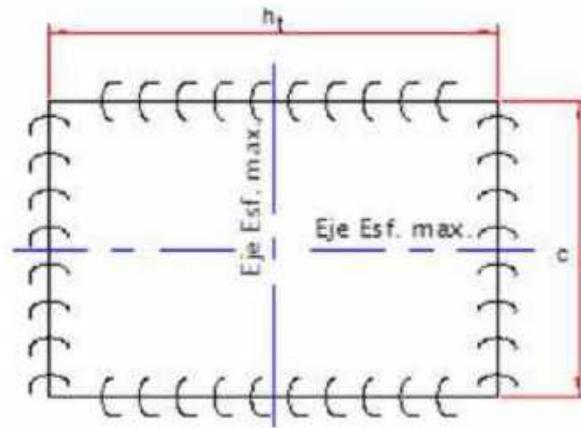
$$\sigma_{adm} = (0.65)214 = 144.6 \text{ MPa}$$

Entonces:

$$S \leq \sigma_{adm}$$

$$4.425 \leq 144.6 \rightarrow \text{es adecuado}$$

**Caso B:** Placas con bordes totalmente empotradas, donde el esfuerzo máximo en la placa se da en los ejes centrales a manera de cruz.



**Ilustración 43-3:** Placa con bordes completamente empotrados  
**Fuente:** (Bhandari, 2013)

$$M_{m\acute{a}x} = Nwc^2$$

Donde:

- $N$ : coeficiente de momento
- $W$ : carga distribuida por unidad determinada (Pa)
- $C$ : longitud del lado menor de la placa (m)

$$S = \frac{6M_{max}}{t^2} = \frac{6nwc^2}{t^2}$$

$$a = \frac{c}{h_t} = \frac{0.13}{0.6} = 0.216 \rightarrow N = 0.058$$

Entonces asumimos un espesor, en este caso  $t = 2$  mm.

$$S = \frac{6(0.058)(2236.68)(0.13)^2}{(0.002)^2} = 3.28MPa$$

$$S \leq \sigma_{adm}$$

$$3.28 \leq 144.6 \rightarrow \text{esadecuado}$$

Por tanto, el espesor de 2mm es adecuado.

### 3.5.13. Selección de pernos

#### 3.5.13.1 Selección de pernos de sujeción de las cuchillas

Para el cálculo de los pernos de sujeción de las cuchillas se seleccionó un grado de perno A2 de tipo inoxidable 304, con los siguientes valores de resistencia mecánica.

| Festigkeitsklasse<br>Property class | Zugfestigkeit $R_m$ (N/mm <sup>2</sup> )<br>Tensile strength $R_m$ (N/mm <sup>2</sup> ) | Dehn-/Streckgrenze $R_{p0,2}$ (N/mm <sup>2</sup> )<br>Yield/proof strength $R_{p0,2}$ (N/mm <sup>2</sup> ) |
|-------------------------------------|---|--|
| 50                                  | min. 500  | min. 195   |
| 70                                  | min. 700  | min. 450   |
| 80                                  | min. 800  | min. 600   |

**Ilustración 44-3:** Especificaciones del fabricante para pernos tipo A2 CR

Fuente: (Tobsteel, 2019)

Se seleccionan por tanto los siguientes datos del material.

**Tabla 37-3:** Características mecánicas de los pernos A2 clase 50

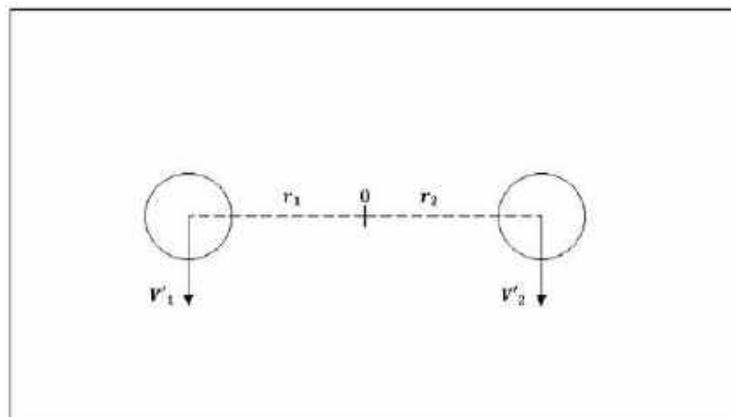
|    |         |
|----|---------|
| Sy | 195 MPa |
| Sp | 180 MPa |

Fuente: (Tobsteel, 2019)

Con estos valores comenzamos el análisis de los pernos de sujeción de las cuchillas.

Por la disposición de las cuchillas en la turbina se asume que la carga de corte va a producir dos tipos de esfuerzo, corte primario, y tracción secundaria.

- Diseño a Corte



**Ilustración 45-3:** Disposición de pernos sometidos a corte  
**Realizado por:** (Salazar, M.; Varela, R. 2023)

Se asume el peso de las placas unidas como carga en el eje y, además de un factor de velocidad de 1,5 debido al servicio de molienda a alta velocidad.

Cizalla primaria

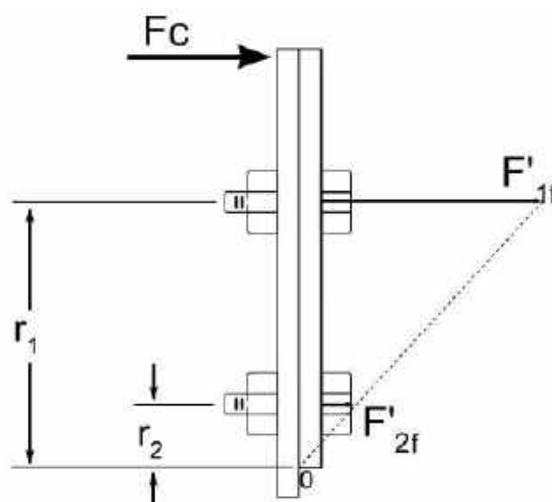
$$V' = \frac{1.5P}{\text{Número de pernos}}$$

$$V' = \frac{1.5(12.564)(9.81)}{2}$$

$$V' = 92.44N$$

No existe cizalla secundaria debido a que no hay un elemento que genere torsión en el plano cortante.

- Diseño a tracción



**Ilustración 46-3:** Disposición de pernos sometidos a tracción

**Realizado por:** (Salazar, M.; Varela, R. 2023)

Para el caso de diseño a tracción se observa que la carga principal que se tiene es la fuerza de corte presente en las esquinas de cada una de las cuchillas, el cual genera un momento dentro de los pernos, y, por tanto, un esfuerzo de tracción secundaria dentro de los elementos de junta.

Tracción Secundaria

$$F_1'' = \frac{Mr_i}{\sum r^2}$$

$$r_1 = 30 \text{ mm} \quad r_2 = 90 \text{ mm}$$

$$F_{f1}'' = \frac{(100003)(90)}{(30)^2 + (90)^2}$$

$$F_{f1}'' = 1000.03 \text{ N}$$

$$F_1'' = \frac{F_{f1}''}{\#pernos \text{ de fila}} = \frac{1000.03 \text{ N}}{2}$$

$$F_1'' = 500.015 \text{ N}$$

Observamos que el perno crítico es el perno 2, y procedemos a realizar los cálculos de pretensión y diseño caso estático.

- Pretensión

$$F_i = 0.9 Sp At$$

$$F_i = 0.9 (180) At = 162 At$$

- Diseño a carga estática

$$n = 6$$

Esfuerzo de corte

$$\tau = \frac{nV}{Ac}$$

Asumimos que  $\frac{At}{Ac} = 1.5$ , por tanto.

$$\tau = \frac{1.5(5)(92.44)}{Ac}$$

$$\tau = \frac{831.96}{Ac}$$

Esfuerzo de tracción

$$\sigma = \frac{F_i}{At} + \frac{ncP}{At}$$

$$\sigma = \frac{189 At}{At} + \frac{6(0.3)(500.015)}{At}$$

$$\sigma = 162 + \frac{900.027}{At}$$

Esfuerzo equivalente

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau}$$

$$195 = \sqrt{\left(162 + \frac{900.027}{At}\right)^2 + 3\left(\frac{831.96}{At}\right)^2}$$

$$At = 32.33$$

Con este valor, seleccionamos un par de pernos M10 con paso 1.5, que tiene un área de esfuerzo a tensión de 58 mm<sup>2</sup>, y un área de diámetro menor de 52.3 mm<sup>2</sup>.

### 3.5.13.2 Selección de pernos del motor

una vez definido el peso de la estructura procedemos a seleccionar los pernos de anclaje de esta para lo que asumiremos:

*Pernos Grado Métrico 8.8*

$$S_p = 600MPa$$

$$S_{ut} = 830MPa$$

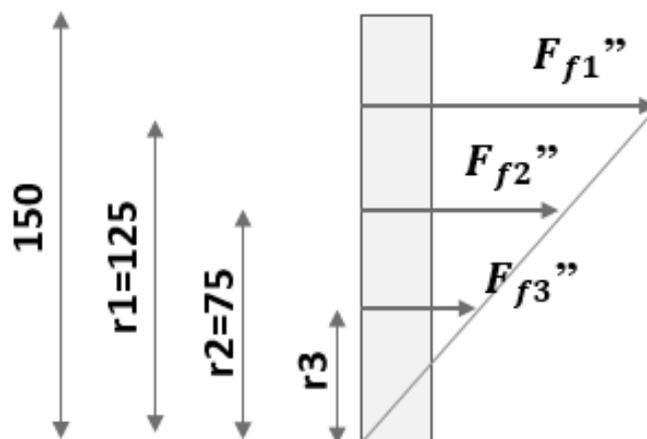
$$S_Y = 660MPa$$

Donde el torque máximo generado por la estructura es igual a:

$$T_{max} = 3393.084 KN. mm$$

Donde las medidas de la platina son:

150 x 150 mm



**Ilustración 47-3:** Disposición de pernos de sujeción del motor

Realizado por: (Salazar, M.; Varela, R. 2023)

Análisis a Tracción Secundaria:

$$r_1 = 125mm$$

$$r_2 = 75mm$$

$$r_3 = 25mm$$

$$\sum r^2 = 21875mm^2$$

$$Ff_1'' = \frac{T_{max} * r_1}{\sum r^2}$$

$$Ff_1'' = \frac{3393084 * 125}{21875}$$

$$Ff_1'' = 19389.051N = f_1'' = P$$

Donde para Juntas Permanentes:

$$F_i = 0.9 * S_p * A_t$$

$$F_i = 0.9(600)A_t$$

$$F_i = 540 A_t$$

$$c = 0,3 \quad \text{Materiales duros sin empaque}$$

Entonces:

$$\frac{F_i}{A_t} + \frac{ncP}{A_t} = S_Y$$

$$\frac{540 A_t}{A_t} + \frac{2(0.3)(19389.051)}{A_t} = 660$$

$$A_t = 96.945 \text{ mm}^2 \quad \text{correspondiente a un perno M14X2}$$

Por lo que en toda la estructura se utilizará 16 Pernos Grado 8.8 M 14 x 2

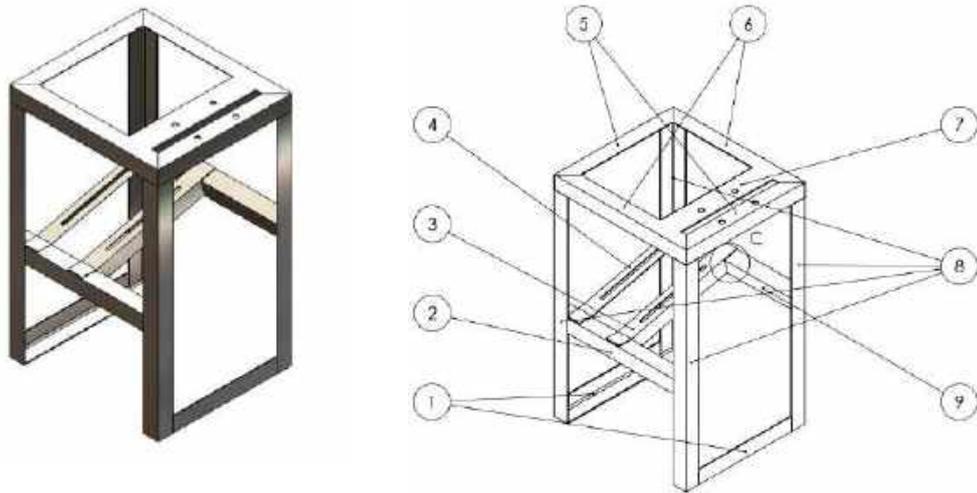
#### **3.5.14. Dimensionamiento de la tolva de salida**

#### **3.5.15. Diseño estructural del bastidor**

La perfilería estructural usada en el ensamble del bastidor del molino pulverizador resulta del estudio de escenarios de trabajo con múltiples combinaciones de carga establecidos bajo la Normativa de Construcción Ecuatoriana, se han considerado varios aspectos de resistencia mecánica que influyen en el diseño, así como la facilidad de operación que requiere el equipo para su manejo cotidiano.

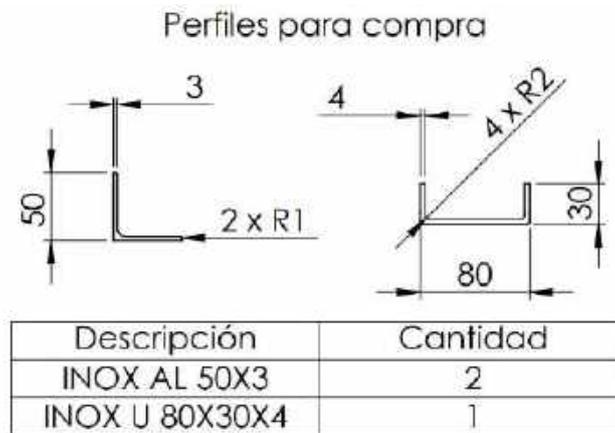
Por tanto, es importante que seleccionemos de manera adecuada el perfil que requerirá la estructura de la base, teniendo en cuenta varias condiciones, como la ubicación de las cargas

que soporta la bancada, y los esfuerzos a los que se verá sometido durante su operación, es decir los esfuerzos máximos admisibles a flexión, los momentos máximos para los módulos más sujetos a cargas y el módulo de la sección empleada.



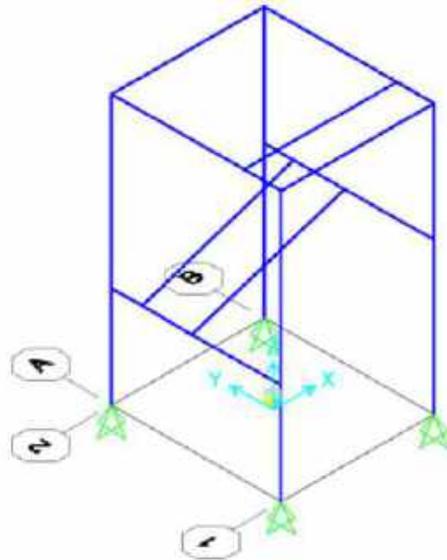
**Ilustración 48-3:** Bastidor del Molino Pulverizador de Productos Deshidratados  
**Realizado por:** (Salazar, M.; Varela, R. 2023)

Para realizar este análisis de resistencia estructural se emplea el programa especializado SAP 2000 con la cual estudiaremos la siguiente configuración de perfiles.



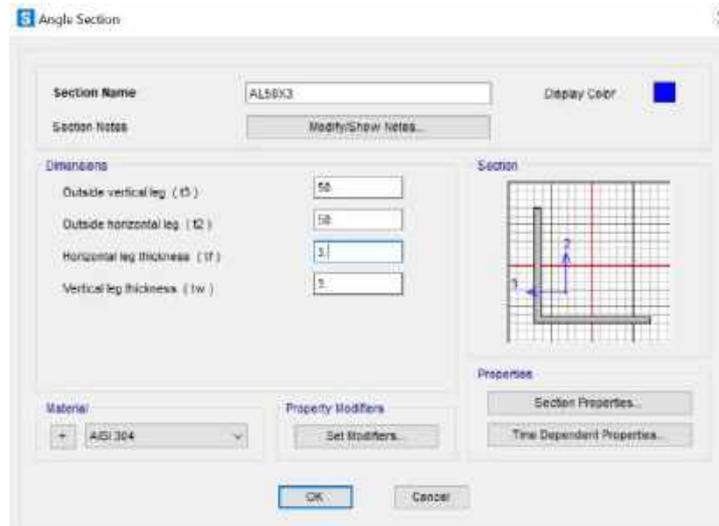
**Ilustración 49-3:** Perfiles empleados para el análisis estructural  
**Realizado por:** (Salazar, M.; Varela, R. 2023)

Con el modelo de la estructura de la bancada se debe realizar un modelo lineal con el cual podemos comenzar con el análisis de SAP 2000, donde se procede aplicar todas las cargas involucradas que inciden en el comportamiento estructural de la bancada de la máquina, a continuación, se presenta el esquema con el que se realiza el análisis en el software.

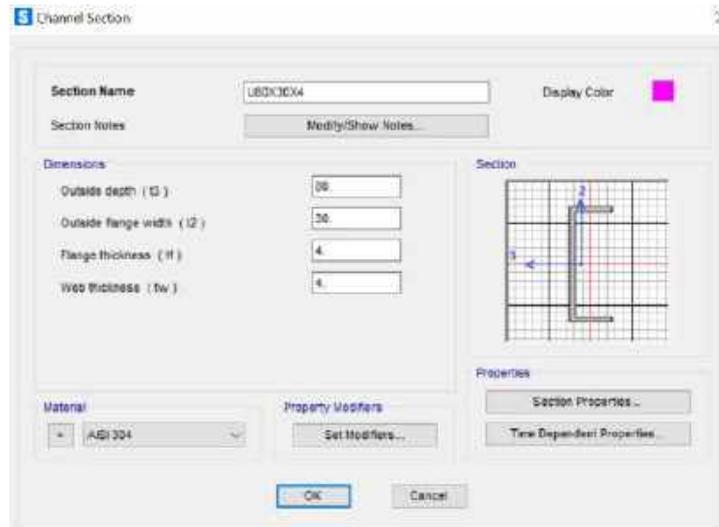


**Ilustración 50-3:** Modelo estructural simplificado  
 Realizado por: (Salazar, M.; Varela, R. 2023)

Dentro del software procedemos a asignar los diferentes perfiles que se tienen dentro de nuestra estructura de soporte, es decir que vamos a asignar los parámetros de perfiles que se tienen para Angulo de 150x3 mm y para perfil U de 32x23x43 mm para los elementos principales de la estructura como se muestra en la Ilustración 49-3.



**Ilustración 51-3:** Perfil AL 50x3  
 Realizado por: (Salazar, M.; Varela, R. 2023)



**Ilustración 52-3:** Perfil U 80x30x4  
**Realizado por:** (Salazar, M.; Varela, R. 2023)

Para esta simulación de esfuerzos se aplican las siguientes cargas para la estructura, viva y muerta, debido a que con esta configuración de cargas se puede tomar en cuenta tanto el material de la bancada, como el material a triturar y todos los elementos que requiere soportar la estructura de bancada para poder ser eficaz dentro de los trabajos que se puedan solicitar.

### 3.5.15.1 Cálculo a carga viva

Dentro del análisis de carga viva se requiere encontrar el volumen que se encontrará ingresando a la maquinaria, el cual se obtuvo para el dimensionamiento de la tolva por la densidad que se tiene del material que se va a triturar, el cual es un promedio estimado hallado anteriormente para el cálculo de potencia requerida y tiene un valor de 1200 Kg/m<sup>3</sup>.

$$m = \rho * V$$

Donde

$m = \text{masa}$

$\rho = \text{densidad}$

$V = \text{volumen}$

$$m = \rho * V$$

$$m = 1200 * 0.012 = 14.4 \text{ Kg} \rightarrow 141.264 \text{ N}$$

Con este valor podemos encontrar la carga viva presente dentro de nuestra estructura dividiendo este valor para los 4 perfiles donde se encuentra apoyada la carcasa de nuestro molino pulverizador, el cual tiene una longitud de 500 mm, con lo que obtendríamos el valor que se muestra.

$$Carga\ viva = 0.0706 \frac{N}{mm}$$

### 3.5.15.2 Cálculo a carga muerta

**Tabla 38-3:** Peso de los elementos del árbol de transmisión.

| ELEMENTO             | PESO (N) | CANTIDAD | PESO TOTAL (N) |
|----------------------|----------|----------|----------------|
| Tolva                | 116.8567 | 1        | 116.8567       |
| Cámara               | 99.7873  | 1        | 99.7873        |
| Turbina              | 45.3025  | 1        | 45.3025        |
| Placa Cuchilla       | 3.4236   | 3        | 10.2708        |
| Placa Martillo       | 3.1490   | 3        | 9.447          |
| Bocín                | 2.6977   | 1        | 2.6977         |
| Árbol de transmisión | 16.1276  | 1        | 16.1276        |
| Chumacera            | 22.3221  | 2        | 44.6442        |
| Polea                | 16.9419  | 1        | 16.9419        |

Realizado por: (Salazar, M.; Varela, R. 2023)

Todos estos pesos de la maquinaria y los demás elementos que también son parte del pulverizador se determinaron mediante el programa SolidWorks en el anexo C, dando como resultado un peso de 362.0757 N

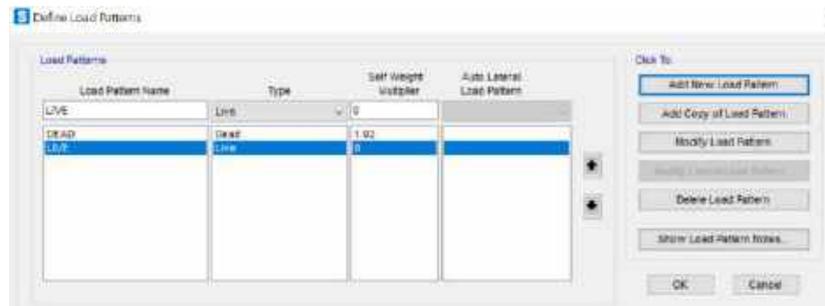
$$M = 362.0757N$$

Para poder hallar la carga muerta real que se tiene para la estructura de la bancada, es necesario repetir el mismo procedimiento que se hizo para la carga viva, es decir dividir el valor de esta magnitud, para los tubos principales que sirven como soporte del resto de elementos de donde se obtiene el siguiente valor.

$$Cargamuerta = 0.1810 \frac{N}{mm}$$

### 3.5.15.3 Definición de patrones de carga en Sap2000

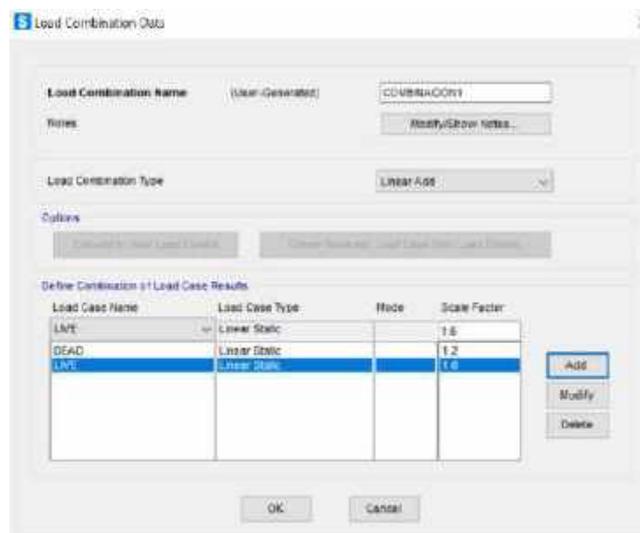
El primer valor por ingresar es la carga muerta, la cual por efectos de soldadura y otros factores, tiene un aumento de 0.02 en su factor de carga, luego se ingresa la carga viva con un factor de 0, esta combinación de cargas es la recomendada para este tipo de análisis mediante el método LRFD de la norma AISC 360 especialista en análisis estructurales.



**Ilustración 53-3:** Patrones de carga en SAP 2000  
Realizado por: (Salazar, M.; Varela, R. 2023)

#### 3.5.15.4 Combinaciones de carga

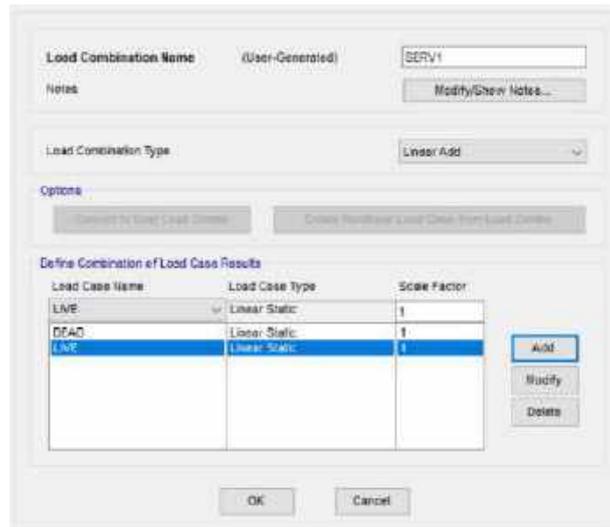
Para concluir con el preprocesamiento se tiene que ingresar los valores para combinaciones de carga aplicados tanto para carga viva, como para carga muerta, de manera que se estable la combinación de cargas necesarias para el análisis estructural, esto bajo el amparo de la norma NEC-SE-CG para cargas no sísmicas, donde para la combinación recomendada se tienen coeficientes de 1,2 y 1,6 para carga muerta y carga viva respectivamente, ingresando los valores que se muestran en la Ilustración 35.4.



**Ilustración 54-3:** Combinación de carga en SAP 2000  
Realizado por: (Salazar, M.; Varela, R. 2023)

Se realiza además una combinación para el estado máximo de servicio o rigidez denominado Servicio 1 bajo la siguiente configuración

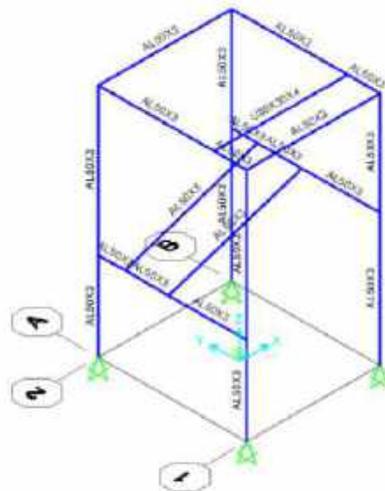
$$\text{Servicio1} = D + L$$



**Ilustración 55-3:** Combinación de carga de servicio en SAP 2000

Realizado por: (Salazar, M.; Varela, R. 2023)

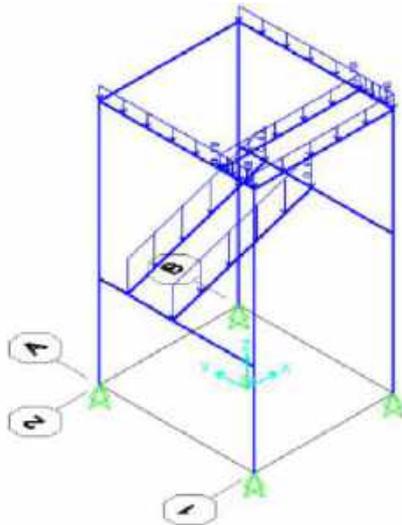
A continuación, procedemos a asignar los perfiles a cada una de las secciones de la estructura.



**Ilustración 56-3:** Asignación de perfiles en SAP 2000

Realizado por: (Salazar, M.; Varela, R. 2023)

Aplicamos las fuerzas tanto para carga viva como para carga muerta que definimos previamente, en los perfiles que se necesitan para poder realizar el análisis de la bancada de nuestro pulverizador.



**Ilustración 57-3:** Asignación de fuerzas en SAP 2000

Realizado por: (Salazar, M.; Varela, R. 2023)

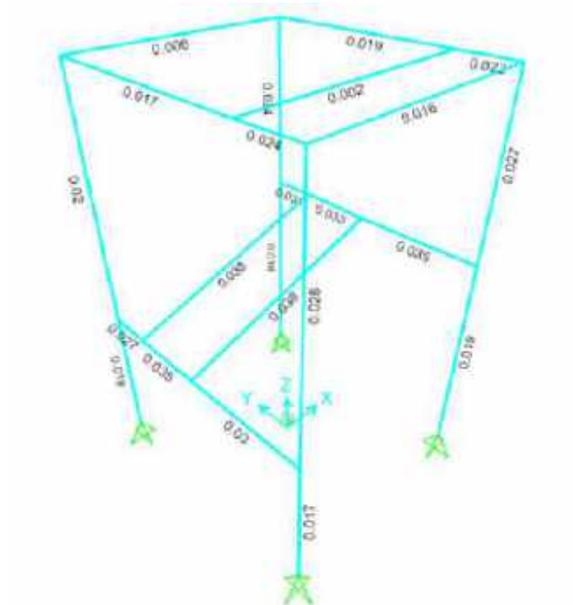
Con estos parámetros podemos obtener los resultados de deformación por cada una de las combinaciones de carga, enfocándonos en la carga de servicio, obteniendo los siguientes resultados.

**Tabla 39-3:** Resultados de la carga de servicio para el análisis

|    |           |           |           |           |
|----|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 1  | SERVICIO1 | 0         | 0         | 0         |
| 2  | SERVICIO1 | -0.003624 | -0.006272 | -0.00312  |
| 3  | SERVICIO1 | 0         | 0         | 0         |
| 4  | SERVICIO1 | -0.009843 | -0.006508 | -0.002012 |
| 5  | SERVICIO1 | 0         | 0         | 0         |
| 6  | SERVICIO1 | -0.003678 | -0.008855 | -0.003138 |
| 7  | SERVICIO1 | 0         | 0         | 0         |
| 8  | SERVICIO1 | -0.009842 | -0.009087 | -0.002486 |
| 9  | SERVICIO1 | -0.002948 | -0.005872 | -0.001266 |
| 11 | SERVICIO1 | 0.001403  | -0.005996 | -0.001406 |
| 12 | SERVICIO1 | -0.007337 | -0.006637 | -0.002052 |
| 13 | SERVICIO1 | -0.00281  | -0.00643  | -0.00193  |
| 16 | SERVICIO1 | -0.00206  | -0.006319 | -0.011878 |
| 17 | SERVICIO1 | -0.002078 | -0.008911 | -0.012237 |
| 22 | SERVICIO1 | -0.002308 | -0.005889 | -0.008594 |
| 23 | SERVICIO1 | -0.001484 | -0.006471 | -0.010564 |
| 24 | SERVICIO1 | -0.001658 | -0.005931 | -0.015085 |
| 25 | SERVICIO1 | -0.000624 | -0.006528 | -0.018295 |

Realizado por: (Salazar, M.; Varela, R. 2023)





**Ilustración 60-3:** Razón demanda capacidad de la estructura en SAP

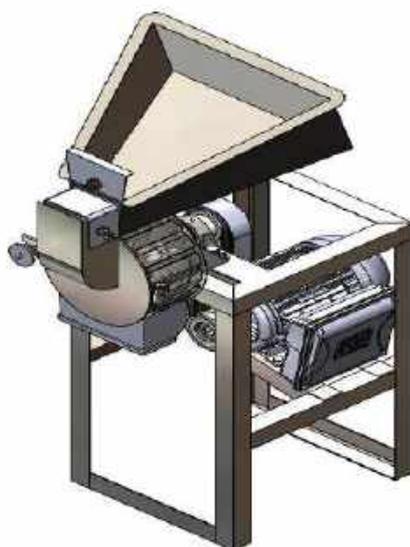
**Realizado por:** (Salazar, M.; Varela, R. 2023)

De esta forma se obtienen los resultados de la relación de demanda contra capacidad mediante el software especializado en análisis estructural SAP 2000, con el cual somos capaces de validar el dimensionamiento que se le otorgó a la bancada del molino pulverizador, se aprecia que este parámetro apenas excede 0.5, asegurando un excedente de carga más que suficiente para que la maquina funcione sin ninguna novedad a lo largo de su vida útil bajo las cargas de trabajo que sufre durante su desempeño normal.

## CAPÍTULO IV

### 4. RESULTADOS

Al finalizar el diseño de materialización del molino pulverizador con todos los componentes internos, piezas de catálogo, partes por maquinar y demás, empieza la etapa del diseño de detalle, es común en ingeniería trabajar en simultáneo en los ámbitos de documentación y planos así como en la validación de la geometría, materiales y condiciones de frontera o cargas en un entorno computacional, dicho de otro modo una validación CAE es necesaria para simular los escenarios de trabajo de los componentes, extraer datos y comprender de mejor manera el rendimiento de la máquina dentro de un entorno controlado por computador. En la Ilustración se muestra el ensamble completo del molino pulverizador y de los componentes del ensamble global del proyecto.



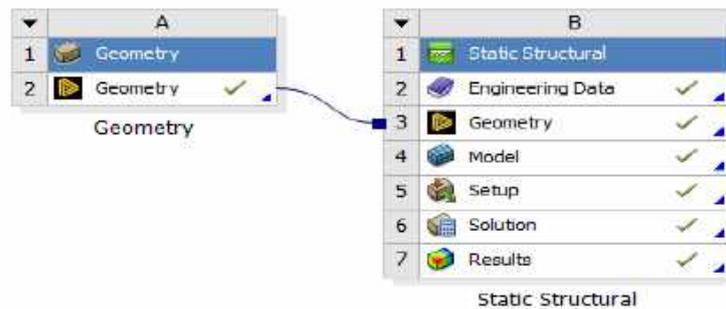
**Ilustración 1-4:** Molino pulverizador de deshidratados

**Realizado por:** (Salazar, M.; Varela, R. 2023)

#### 4.1 Validación del diseño mediante software (CAE)

La metodología por emplear en el desarrollo de la validación mediante CAE resulta en un proceso establecido por la práctica y la innovación en el campo de la simulación mecánica por elementos finitos, en particular con el uso de la herramienta estructural de ANSYS, a partir de la geometría CAD desarrollada en cualquier software de modelado 3D, se importa en un formato nativo de extensión .step, el cual se simplifica, corrige y repara dentro de SpaceClaim, esta herramienta es parte del paquete de ANSYS, una vez obtenida dicha

geometría es vinculada al modelo de estudio dentro del framework de Workbench, se define el material que en nuestro caso corresponde al acero inoxidable AISI 304, se procede al mallado del elemento dentro de la herramienta Mechanical de ANSYS, se emplean métodos de refinamiento de malla como Sizing, Hex dominant o Face Meshing hasta lograr valores adecuados dentro de los recomendados por la literatura en las métricas de malla (Mesh metrics).

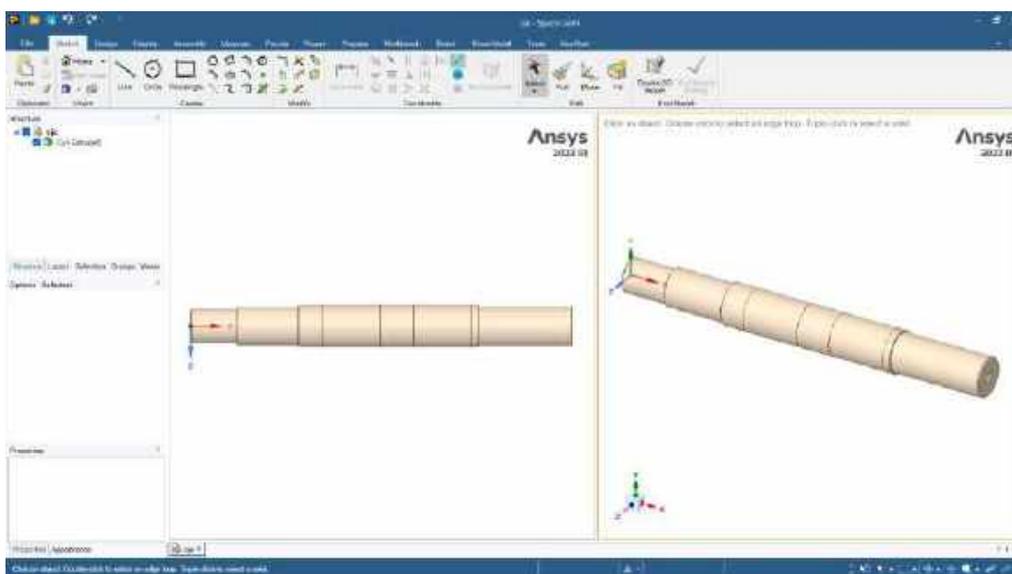


**Ilustración 2-4:** Flujo de Trabajo ANSYS Módulo Estructural  
Realizado por: (Salazar, M.; Varela, R. 2023)

Se definen las condiciones de frontera de restricciones, contactos y cargas en los elementos, considerando fuerzas, presiones, momentos y apoyos según el criterio adecuado, se establecen los requerimientos de solución para que el programa ejecute los solvers correspondientes (deformación total, esfuerzos globales, factor de seguridad, fatiga, vida, curvas de histéresis, resonancia, etc).

#### 4.1.1. *Árbol de transmisión*

##### 4.1.1.1. *Geometría Eje*

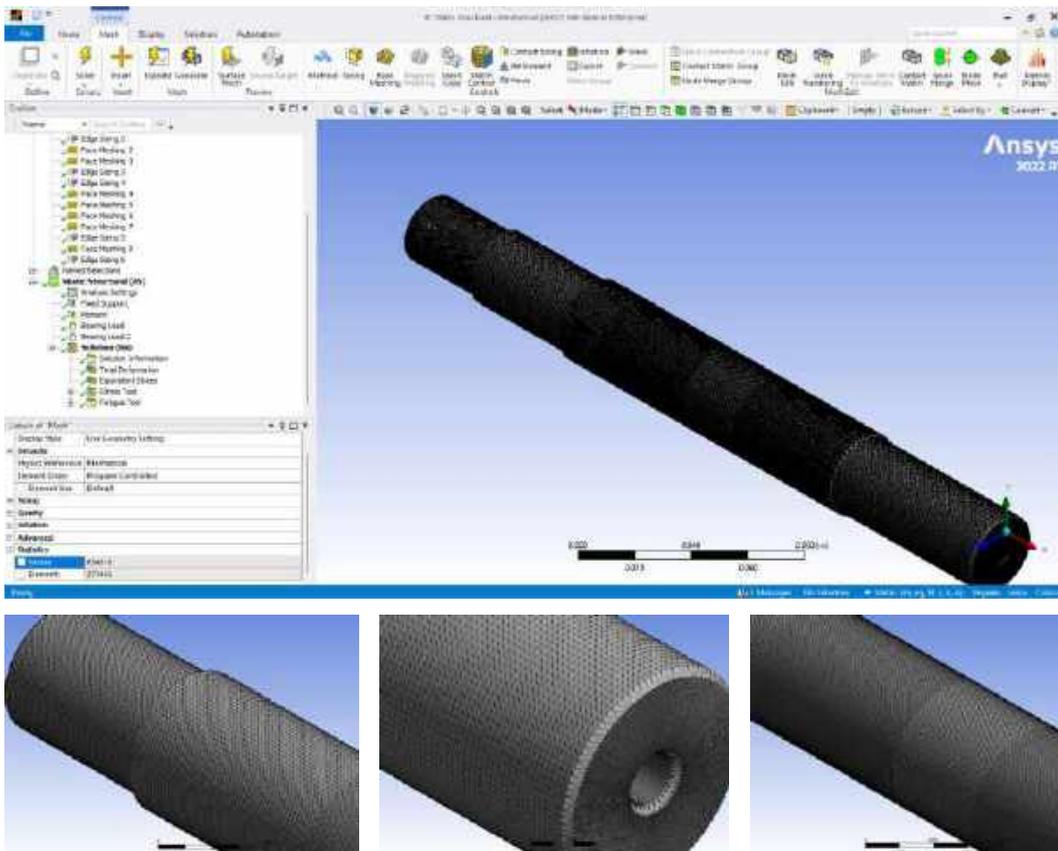


**Ilustración 3-4:** Geometría simplificada del Eje en SpaceClaim  
Realizado por: (Salazar, M.; Varela, R. 2023)

La geometría del eje resulta en un archivo CAD nativo con extensión .step el cual es importado desde la herramienta de SpaceClaim en ANSYS, resulta conveniente para efectos de malla y análisis el simplificar aspectos de la geometría de detalle, adicional se debe considerar límites para las secciones de apoyo, es decir se han delimitado los contornos para el montaje de los rodamientos en la parte central del eje.

*4.1.1.2. Malla Eje*

La metodología de mallado del eje es una secuencia de iteraciones con variantes de parámetros de métodos de malla que brinda con facilidad la interfaz de la herramienta Mechanical de ANSYS, idealmente la aplicación de un método hex-dominant en conjunto con un sizing resultaría en elementos de buena proporción y geometría regular pero lamentablemente el mallado no resulta en un procedimiento tan sencillo.



**Ilustración 4-4:** Mallado del eje en Mechanical ANSYS  
Realizado por: (Salazar, M.; Varela, R. 2023)

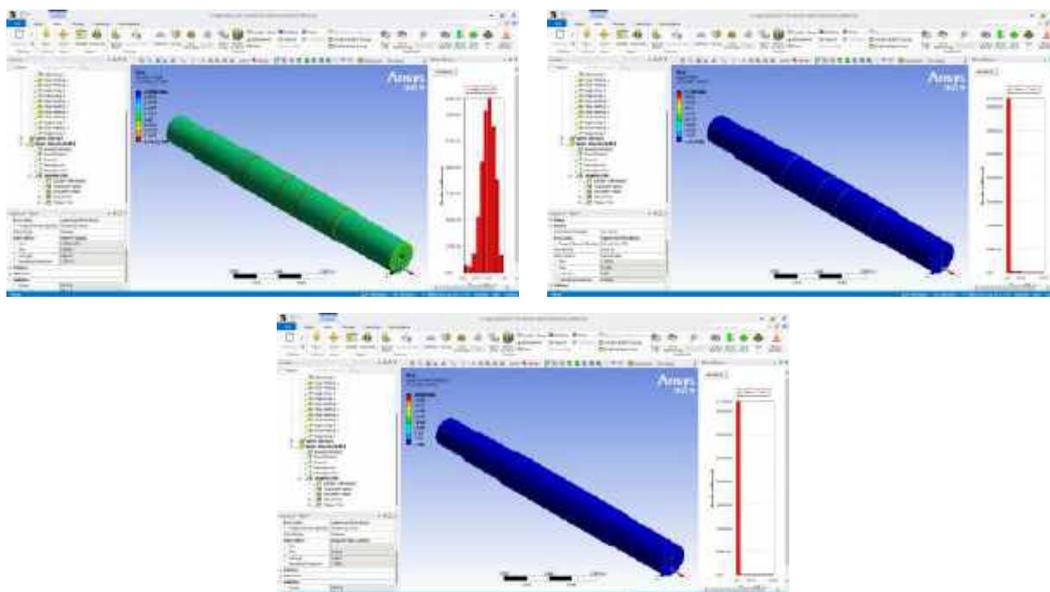
En base a la configuración cilíndrica de un árbol se definieron métodos de sizing por número de particiones en los contornos de las secciones cilíndricas del mismo diámetro, con esto se logran secciones regulares en los extremos de las secciones. Estos extremos sirven de límite para un mallado en las caras cilíndricas en base al número de particiones definidas en el sizing, en resumen, se optó por una metodología conjunta entre Edge-sizing y face-meshing para lograr elevar las métricas mostradas en la siguiente tabla.

**Tabla 1-4:** Métricas de Malla de la Geometría del Eje

| Métrica         | Valor (Prom) |
|-----------------|--------------|
| Nodos           | 634516       |
| Elementos       | 371445       |
| Element Quality | (0.85136)    |
| Aspect Ratio    | (2.982)      |
| Jacobian Ratio  | (1.0253)     |

Realizado por: (Salazar, M.; Varela, R. 2023)

En base a literatura referente se han definido valores referenciales para cada una de las métricas presentadas anteriormente en la tabla. A continuación, se presentan de modo detallado las estadísticas de métricas de malla para la geometría del eje del molino pulverizador de productos deshidratados.



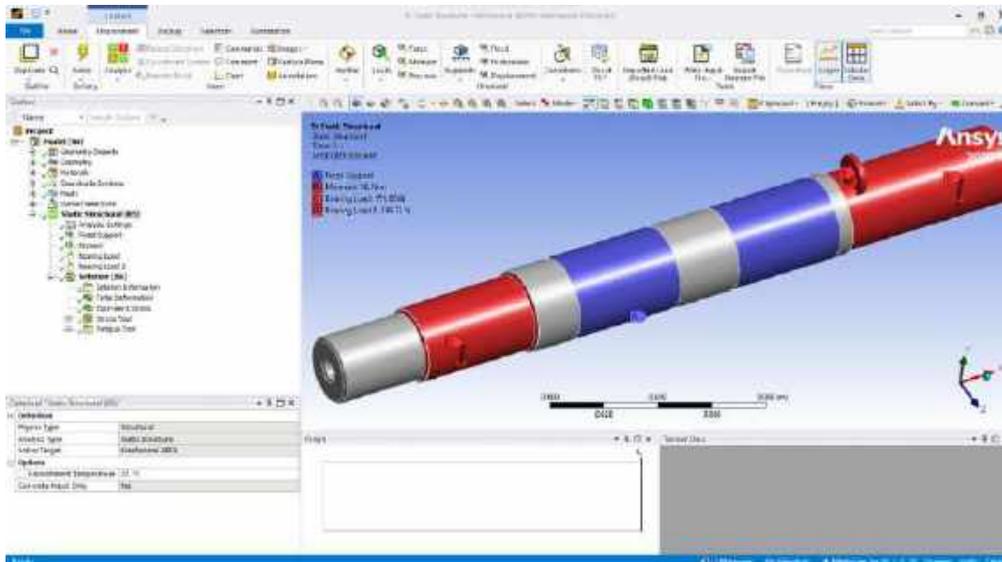
**Ilustración 5-4:** Métricas de Calidad de Malla del Eje

Realizado por: (Salazar, M.; Varela, R. 2023)

#### 4.1.1.3. Condiciones de Frontera Eje

Para lograr un efecto real en la configuración del análisis se definen valores de frontera de cargas y momentos en ciertas regiones específicas que simulen el comportamiento real del elemento bajo escenarios de carga de trabajo, debido a esta premisa, resulta necesario también considerar secciones de geometría que servirán de apoyo o anclaje para asegurar puntos de bancada dentro del análisis.

Del diagrama de momentos torsores calculados en el capítulo anterior se ha tomado el valor de 10 Nm para la sección de montaje de polea en donde recibe la potencia el árbol, seguidamente bajo la longitud axial tomada del catalogo de rodamientos seleccionados se definen los apoyos, para finalmente ubicar una carga de 150 N paralela al eje de la gravedad en donde se simplifique el efecto del peso de la turbina y las placas de impacto del percutor.

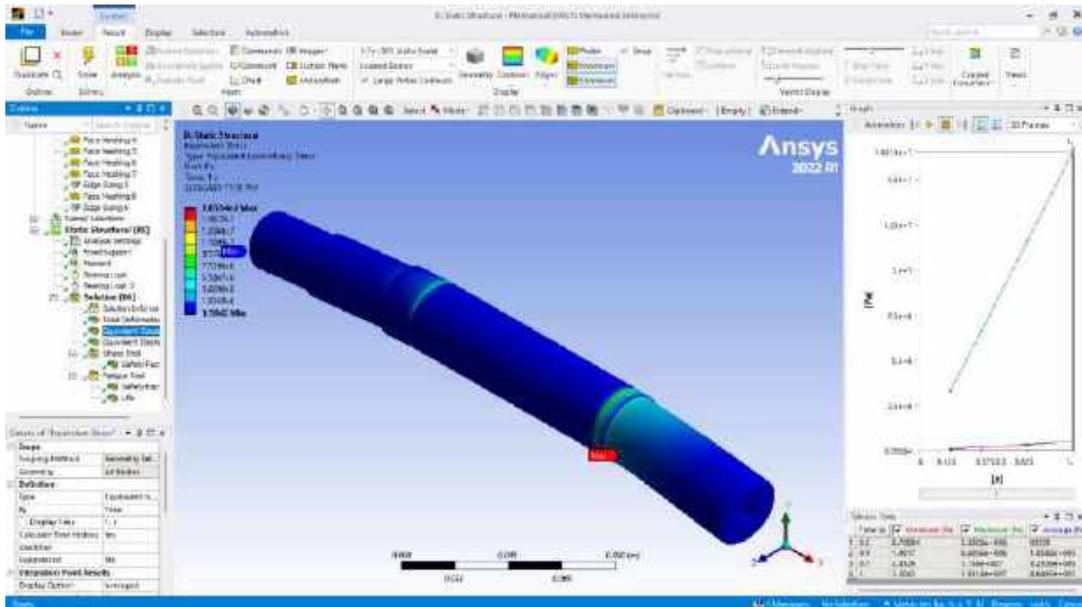


**Ilustración 6-4:** Condiciones de frontera aplicadas en el Eje  
Realizado por: (Salazar, M.; Varela, R. 2023)

#### 4.1.1.4. Resultado Cae Eje

##### **Resultado de Esfuerzo Equivalente (von-Misses) en el Eje:**

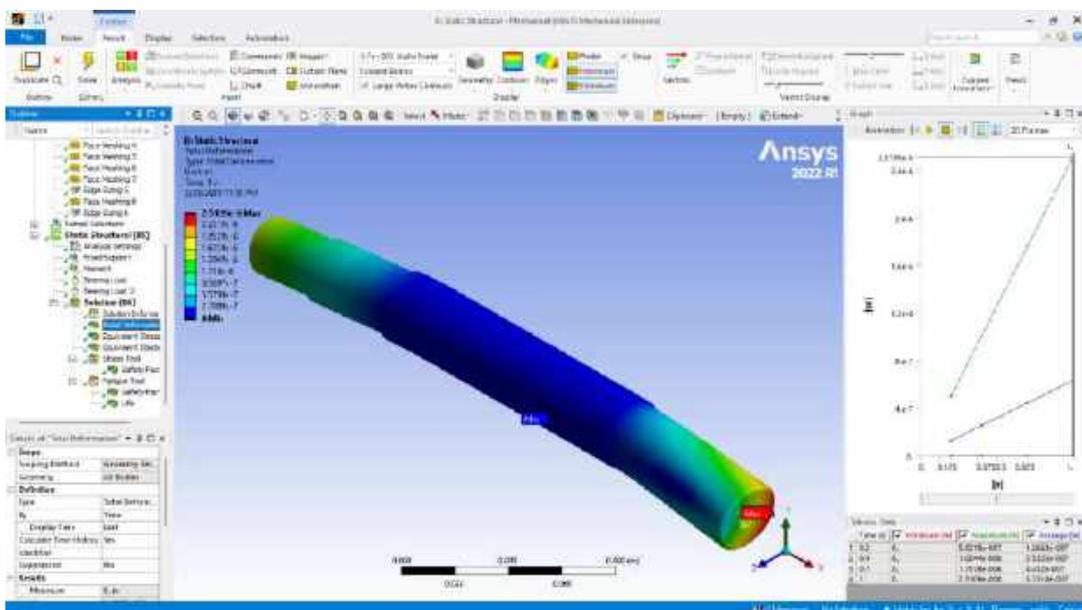
El valor máximo de esfuerzo resultante en el eje es de 16.51MPa, para lo cual el esfuerzo de fluencia del acero AISI 304 es de 207 MPa, por lo cual no representa problemas en la fase dúctil del ciclo de carga planteado.



**Ilustración 7-4:** Resultado de Esfuerzo Equivalente en el eje  
**Realizado por:** (Salazar, M.; Varela, R. 2023)

**Resultado de deformación total en el Eje:**

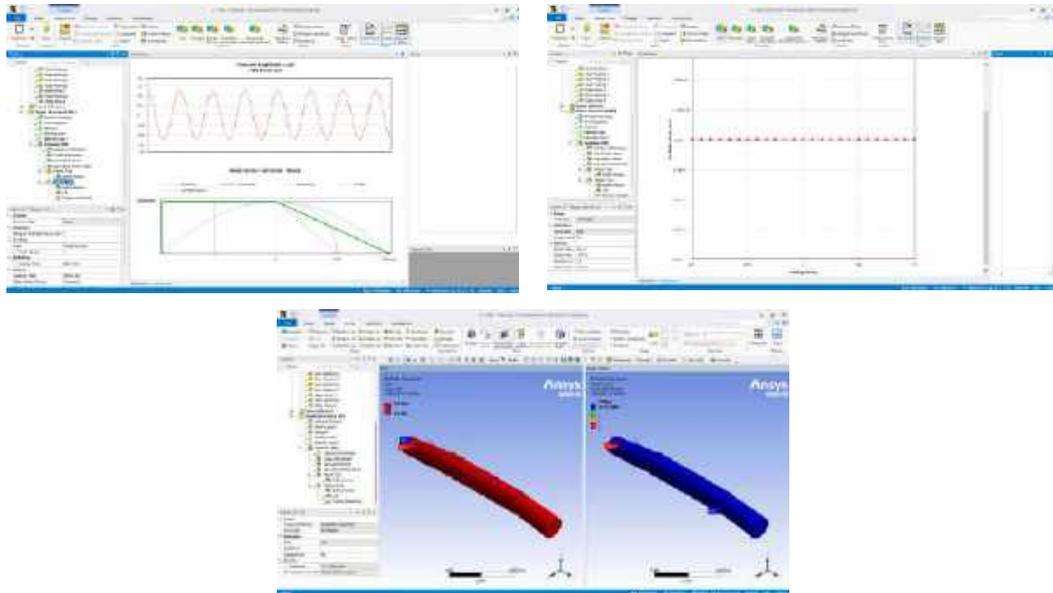
El valor de flecha máxima permisible en arboles de transmisión resulta en 0.16 mm por cada metro de longitud, es decir en el eje se puede tolerar deformaciones de hasta 0.0456 mm, en el eje se registra un valor máximo de 0.00251 mm lo cual evidencia un margen adecuado en los valores permisibles.



**Ilustración 8-4:** Resultado de Deformación Total el en eje  
**Realizado por:** (Salazar, M.; Varela, R. 2023)

**Resultado del análisis a Fatiga Esfuerzo Vida en el Eje:**

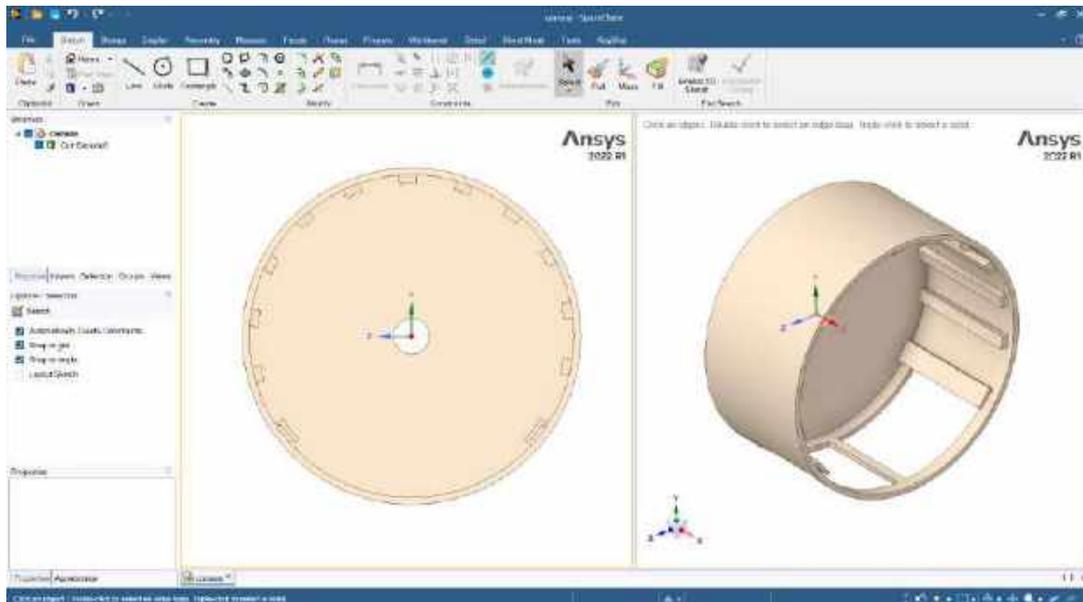
Para el análisis a fatiga se consideran ciclos de carga de naturaleza cíclica debido a la rotación constante del elemento durante el tiempo de trabajo, además se especifica un factor de calculo según el criterio de esfuerzo equivalente de Goodman, para lo cual se obtiene una curva lineal a fatiga para el elemento como se muestra en la siguiente Ilustración.



**Ilustración 9-4:** Resultado de análisis a fatiga en el eje  
**Realizado por:** (Salazar, M.; Varela, R. 2023)

#### 4.1.2. Cámara de Pulverización

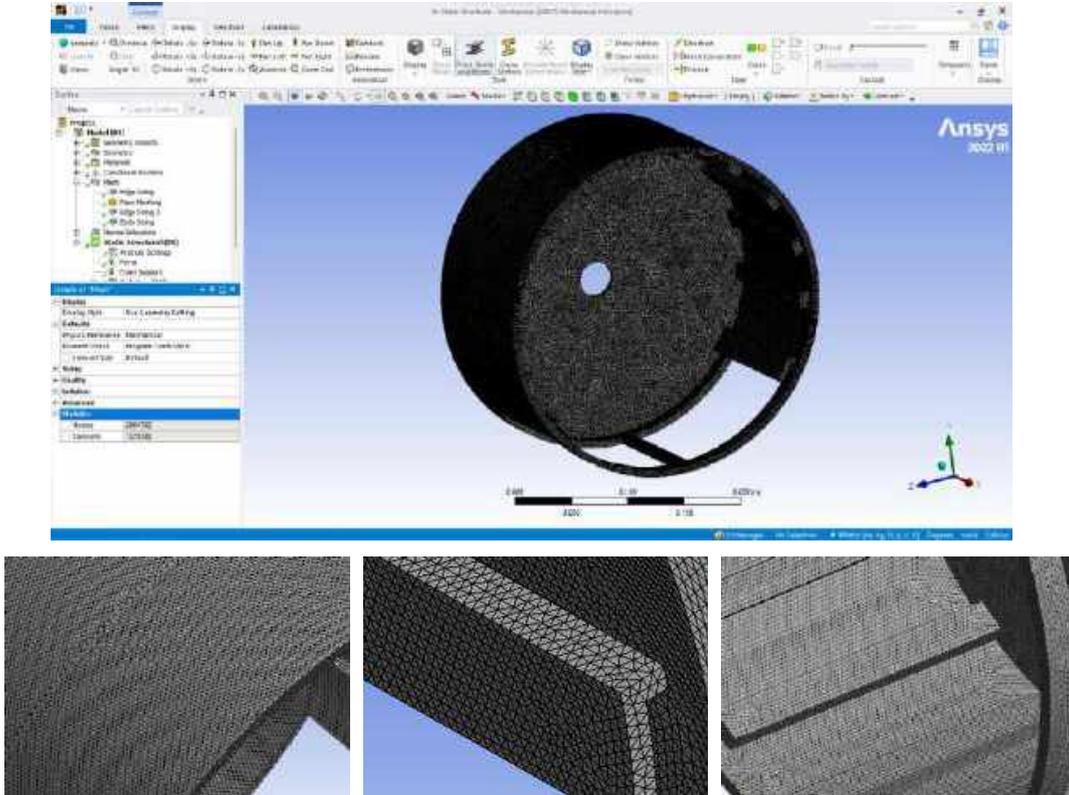
##### 4.1.2.1. Geometría Cámara



**Ilustración 10-4:** Geometría simplificada de la Cámara en SpaceClaim  
**Realizado por:** (Salazar, M.; Varela, R. 2023)

La geometría de la cámara de pulverización resulta en un cilindro con cuerpos rectangulares distribuidos en la periferia, estos elementos recibirán el impacto del material pulverizado con él de la turbina, toda la geometría pertenece a un cuerpo único de acero AISI 304.

#### 4.1.2.2. Malla Cámara



**Ilustración 11-4:** Mallado de la Cámara en Mechanical ANSYS  
**Realizado por:** (Salazar, M.; Varela, R. 2023)

El mallado de la cámara de pulverizado se basa en métodos de Edge-sizing para cada uno de los bordes cilíndricos, al exterior de la cámara como en el centro de la cara plana del cuerpo, las caras planas y cilíndricas se las ha tratado con un mallado de cara uniforme a las particiones definidas en el método anterior.

Al ser un cuerpo compuesto por múltiples cuerpos rectangulares manufacturados por soldadura el número de nodos y elementos aumenta por lo cual se refleja en los valores expuestos en la siguiente tabla, la calidad de malla es proporcional a la cantidad de elementos, su distribución, uniformidad y la capacidad de procesamiento computacional.

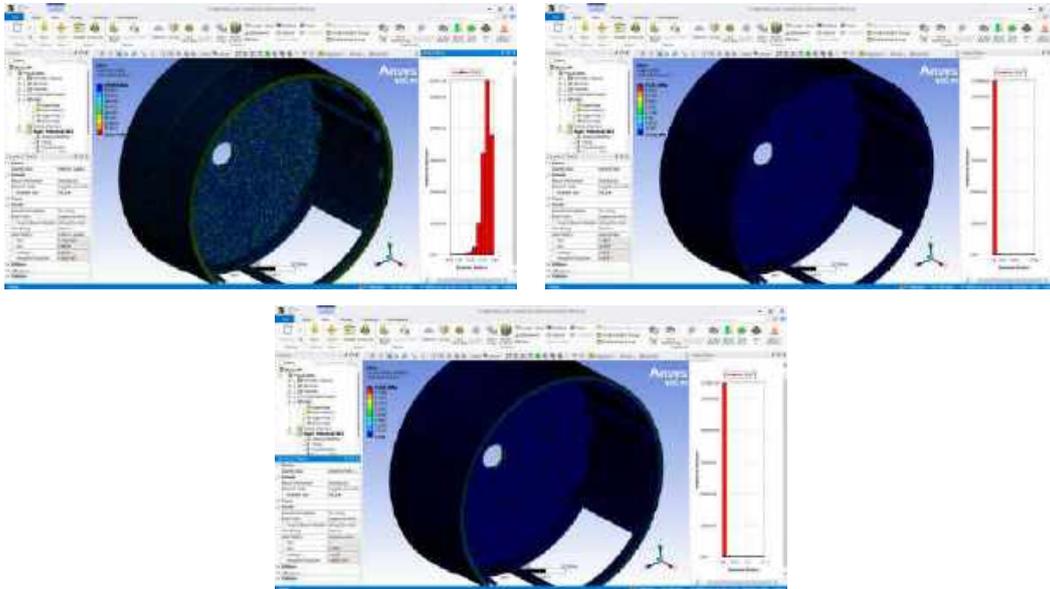
**Tabla 2-4:** Métricas de Malla de la Geometría de la Cámara

| Métrica   | Valor (Prom) |
|-----------|--------------|
| Nodos     | 2064782      |
| Elementos | 1379380      |

|                 |           |
|-----------------|-----------|
| Element Quality | (0.84241) |
| Aspect Ratio    | (1.8323)  |
| Jacobian Ratio  | (1.0009)  |

**Realizado por:** (Salazar, M.; Varela, R. 2023)

Con base a los aspectos de calidad de malla expuestos en la tabla se aprecia en la siguiente Ilustración un promedio de 0.8424 en la métrica de Element quality, un valor de 1.8323 para la métrica de aspecto ratio y un valor de 1.0009 en la métrica de jacobian ratio, las distribuciones de las métricas se presentan junto al modelo.

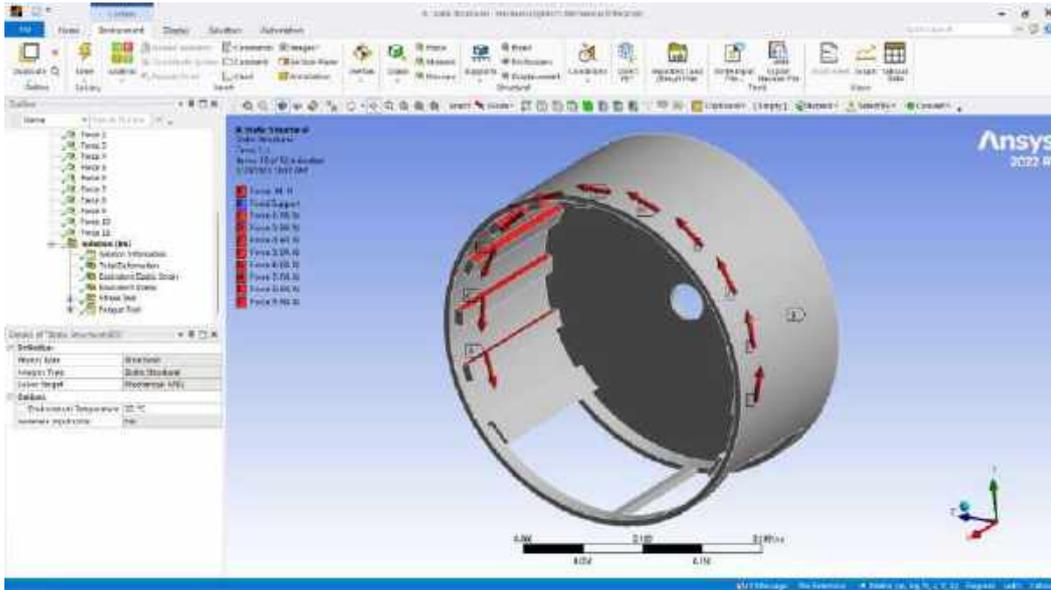


**Ilustración 12-4:** Métricas de Calidad de Malla de la Cámara

**Realizado por:** (Salazar, M.; Varela, R. 2023)

#### 4.1.2.3. Condiciones de Frontera Cámara

Debido a la fuerza de corte e impacto destinada en cada una de las placas de la cámara de pulverización se ha establecido una distribución por área en cada una de las caras de las cuchillas, se ha definido así una fuerza de 84 N perpendicular a cada una de las caras, además del soporte fijo que se ancle de bancada.

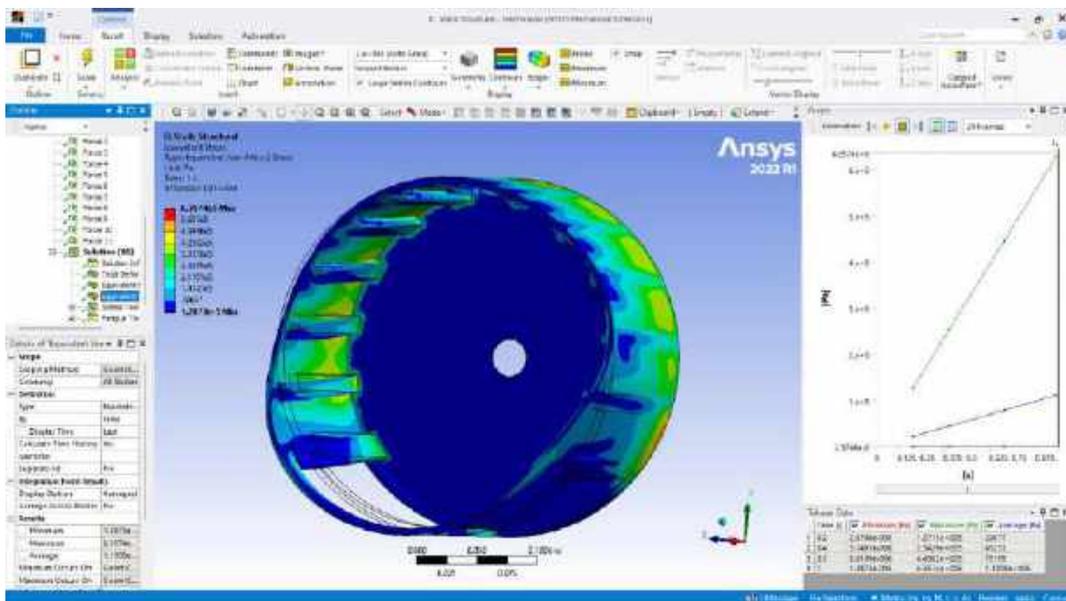


**Ilustración 13-4:** Condiciones de frontera aplicadas en la Cámara  
**Realizado por:** (Salazar, M.; Varela, R. 2023)

#### 4.1.2.4. Resultado Cae Cámara

#### **Resultado de Esfuerzo Equivalente (von-Mises) en la Cámara:**

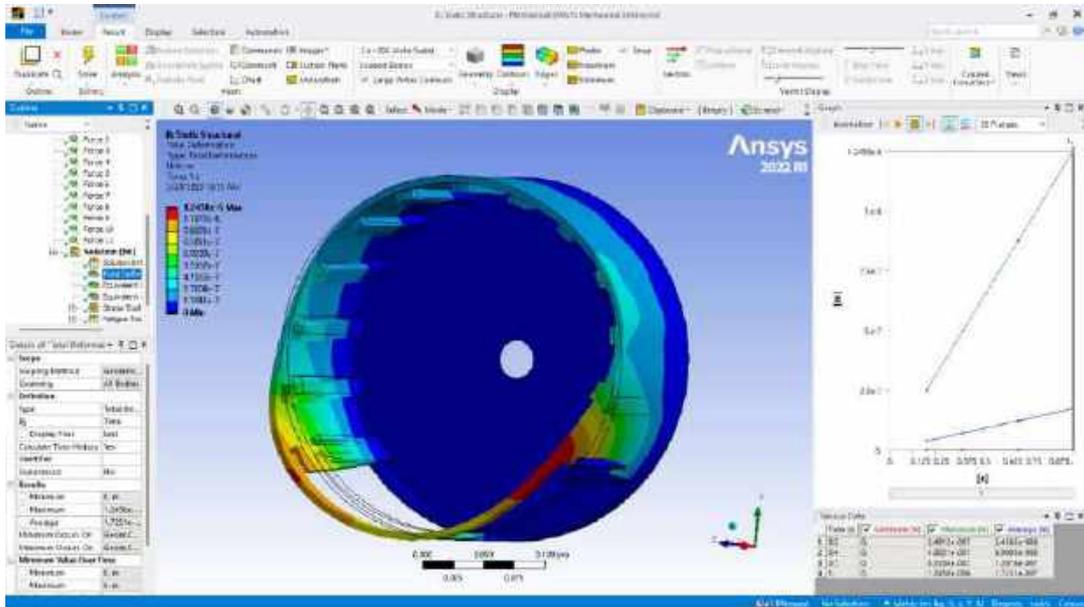
El valor máximo de esfuerzo resultante en la cámara es mucho menor que el valor del esfuerzo de fluencia del acero AISI 304, por lo cual el elemento de análisis no presenta mayor problema de resistencia por impacto.



**Ilustración 14-4:** Resultado de Esfuerzo Equivalente en la cámara  
**Realizado por:** (Salazar, M.; Varela, R. 2023)

#### **Resultado de deformación total en la Cámara:**

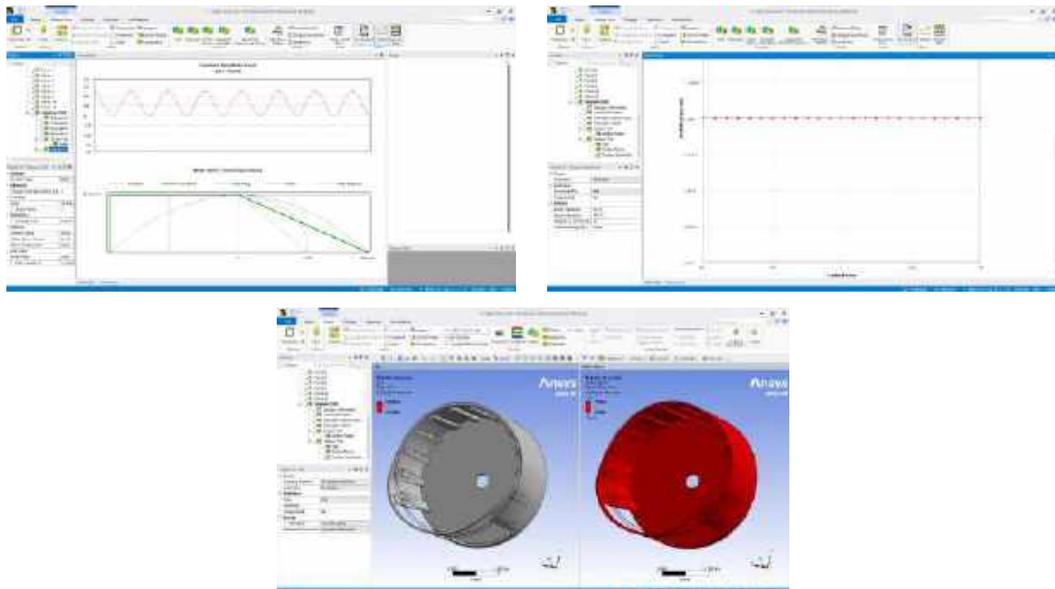
Según el análisis de ANSYS la parte sin material de la envolvente presenta mayor tendencia al fallo, lo cual es lógico debido a la remoción de material necesaria para la descarga del producto pulverizado, el software indica un valor de flecha máxima en el elemento de 0.0012 milímetros, lo cual es razonable para el elemento en análisis.



**Ilustración 15-4:** Resultado de Deformación Total en la cámara  
**Realizado por:** (Salazar, M.; Varela, R. 2023)

**Resultado del análisis a Fatiga Esfuerzo Vida en la Cámara:**

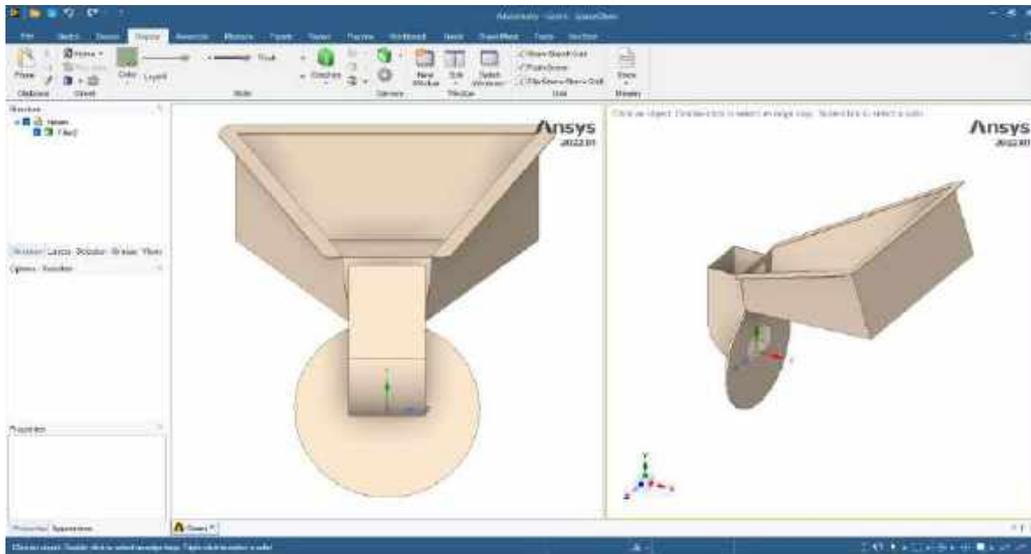
En el análisis a fatiga se ha considerado un escenario con ciclos de carga positiva arriba del cero, el elemento permanece estático sin rotación por lo cual no se considera un escenario reversible, siendo así se han obtenido comportamientos lineales en la respuesta a fatiga.



**Ilustración 16-4:** Resultado de análisis a fatiga en la cámara  
**Realizado por:** (Salazar, M.; Varela, R. 2023)

### 4.1.3. Tolva de Alimentación

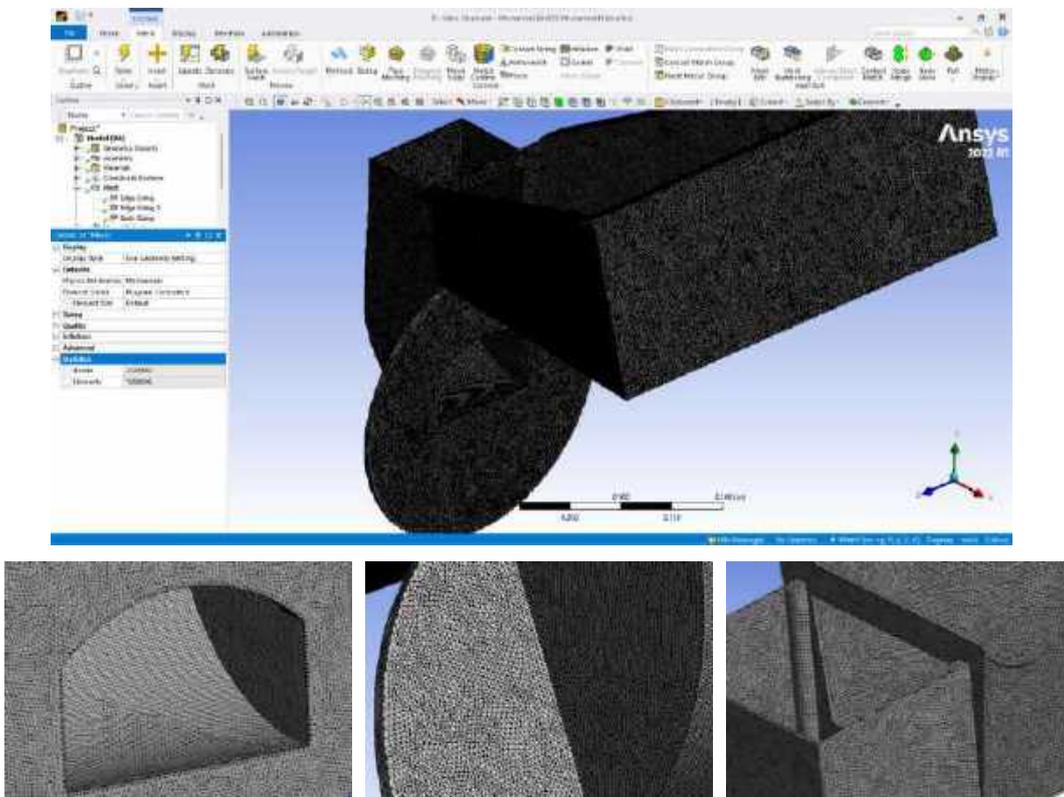
#### 4.1.3.1. Geometría Tolva



**Ilustración 17-4:** Geometría simplificada de la Tolva en SpaceClaim  
Realizado por: (Salazar, M.; Varela, R. 2023)

La geometría simplificada en SpaceClaim para la tolva se muestra en la Ilustración anterior, es útil notar detalles no influyentes en el calculo como la bisagra y el mecanismo de sujeción de la tapa de la cámara de trituración, estas simplificaciones mejoran la tendencia de mallado.

#### 4.1.3.2. Malla Tolva



### Ilustración 18-4: Mallado de la Tolva en Mechanical ANSYS

Realizado por: (Salazar, M.; Varela, R. 2023)

El mallado de un elemento tridimensional resulta en una metodología más compleja que un elemento bidimensional o lineal, además de las simplificaciones mencionadas resulta importante establecer un modelo que asegure una buena calidad de malla, así como un tiempo prudente de simulación tanto en las iteraciones de malla como en el análisis de elementos finitos ejecutado por los solvers internos de ANSYS.

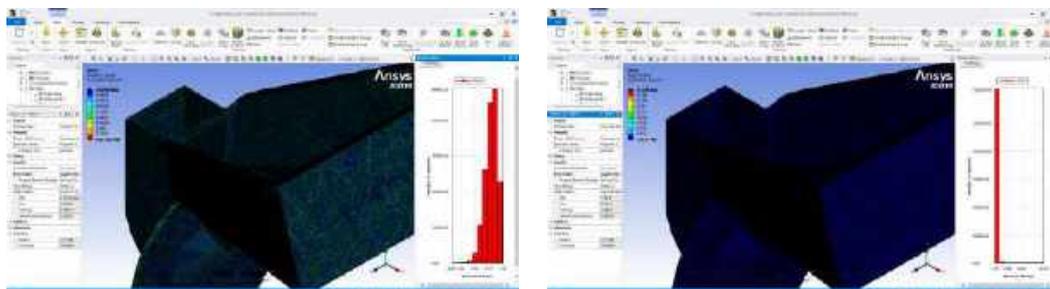
En la Ilustración anterior se pueden apreciar los detalles de la entrada a cámara así como las adecuaciones en tamaño a los bordes de la geometría, según literatura aplicada, un tratamiento de sizing equivale a un método global de hexágonos o tetraedros con la diferencia del control en las caras de los cuerpos.

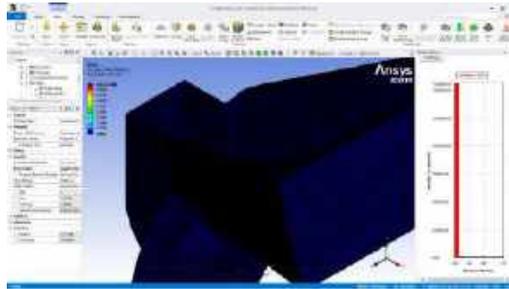
**Tabla 3-4:** Métricas de Malla de la Geometría de la Tolva

| Métrica         | Valor (Prom) |
|-----------------|--------------|
| Nodos           | 2723562      |
| Elementos       | 1558045      |
| Element Quality | (0.79276)    |
| Aspect Ratio    | (1.9827)     |
| Jacobian Ratio  | (1.0005)     |

Realizado por: (Salazar, M.; Varela, R. 2023)

Teniendo en mente esta proporción de complejidad y número de elementos se han definido los valores mostrados en la tabla anterior, las métricas de calidad de elemento con un promedio de 0.79, el ratio de aspecto con 1.98 y el ratio del jacobiano con 1.

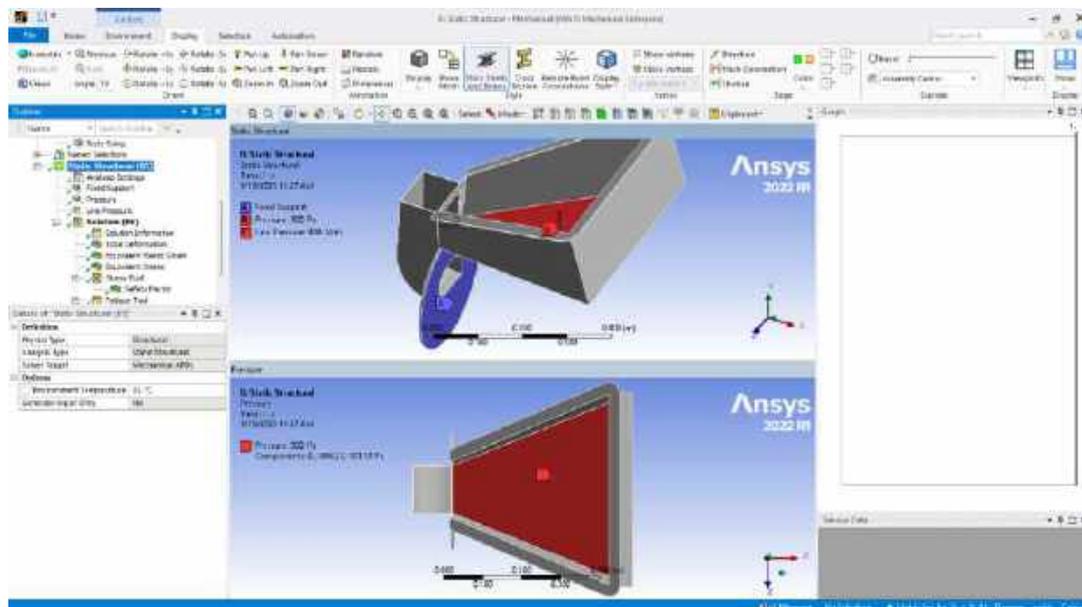




**Ilustración 19-4:** Métricas de Calidad de Malla de la Tolva  
Realizado por: (Salazar, M.; Varela, R. 2023)

#### 4.1.3.3. Condiciones de Frontera Tolva

Se ha definido la cara interna de la tapa como soporte fijo, se aplicó en la cara interna de la tolva una carga de 900 Pa como presión direccionada en sentido gravitatorio debido al ser el material de entrada alimento deshidratado, además de una línea de presión de la misma magnitud en la entrada del dosificador para agravar el efecto.

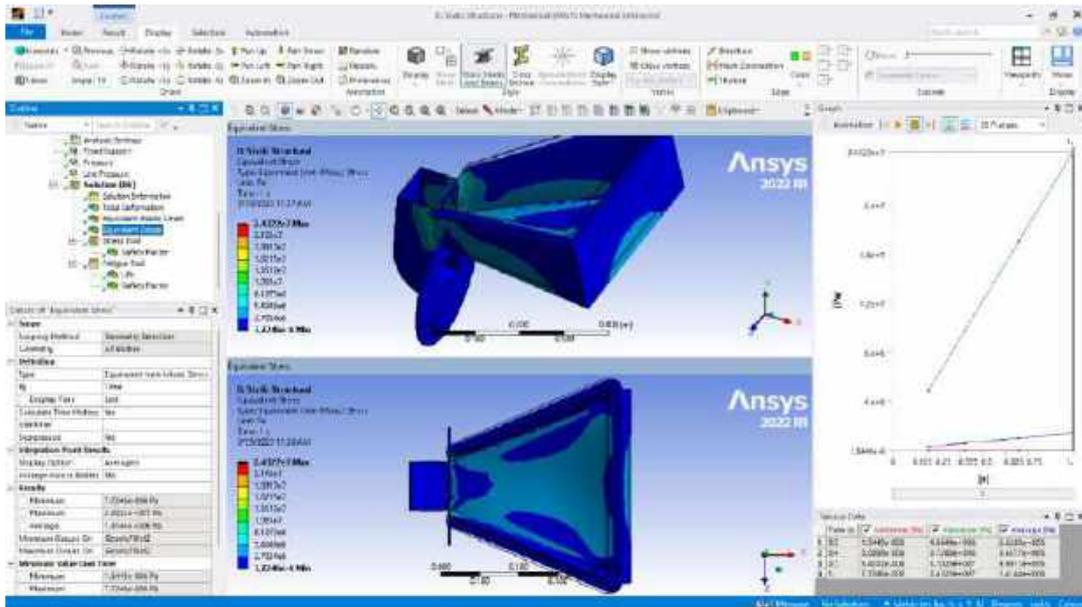


**Ilustración 20-4:** Condiciones de frontera aplicadas en la Tolva  
Realizado por: (Salazar, M.; Varela, R. 2023)

#### 4.1.3.4. Resultado Cae Tolva

##### Resultado de Esfuerzo Equivalente (von-Misses) en la Tolva:

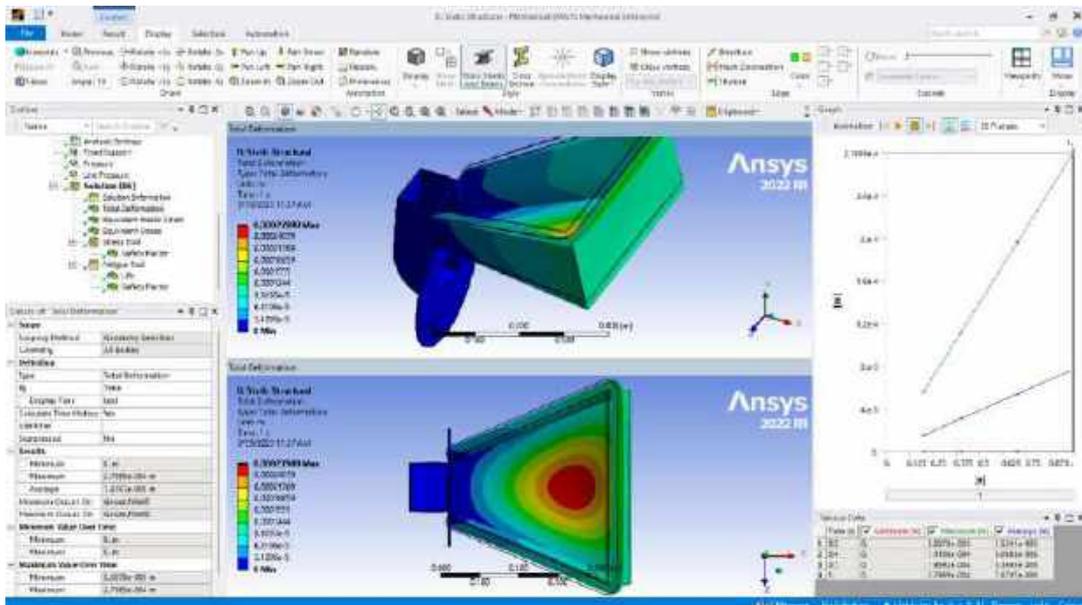
El valor obtenido de esfuerzo máximo en el elemento resulta en el asiento de la tolva y la parte superior de la tapa, con un valor de 24.322 MPa que resulta muy por debajo del valor admisible a la fluencia del acero AISI 304



**Ilustración 21-4:** Resultado de Esfuerzo Equivalente en la Tolva  
 Realizado por: (Salazar, M.; Varela, R. 2023)

**Resultado de deformación total en la Tolva:**

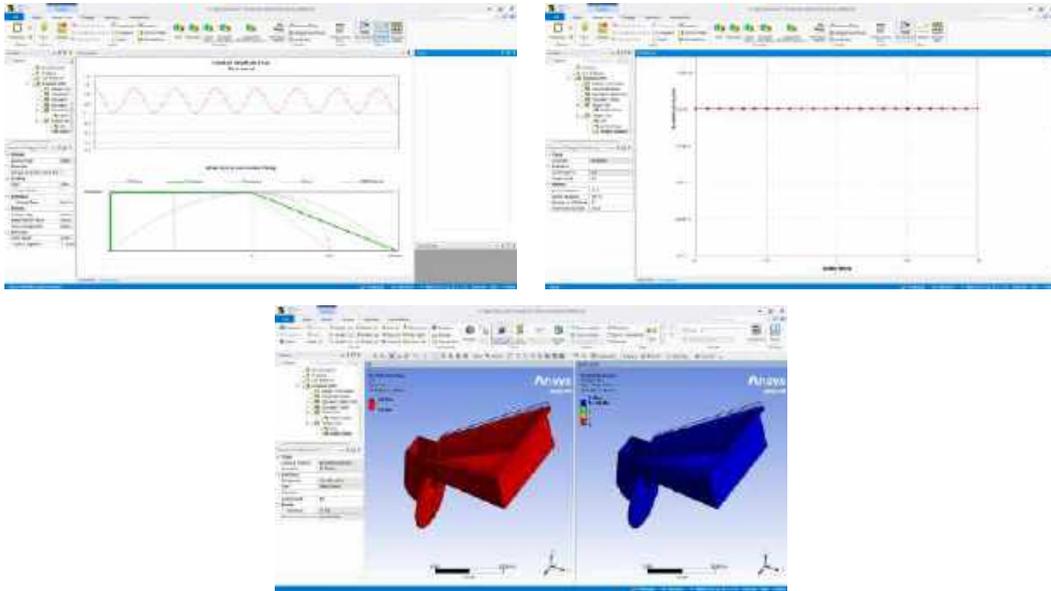
En la siguiente Ilustración se muestran las curvas de presión generadas en el elemento, se lee un valor de flecha máxima de 0.00027 m para una región marcada en color rojo, lo cual indicaría una deformación aproximada de un cuarto de milímetro en la lámina de acero al cargar la maquina con el producto de mayor densidad y en constante capacidad máxima de trabajo.



**Ilustración 22-4:** Resultado de Deformación Total en la tolva  
 Realizado por: (Salazar, M.; Varela, R. 2023)

**Resultado del análisis a Fatiga Esfuerzo Vida en la Tolva:**

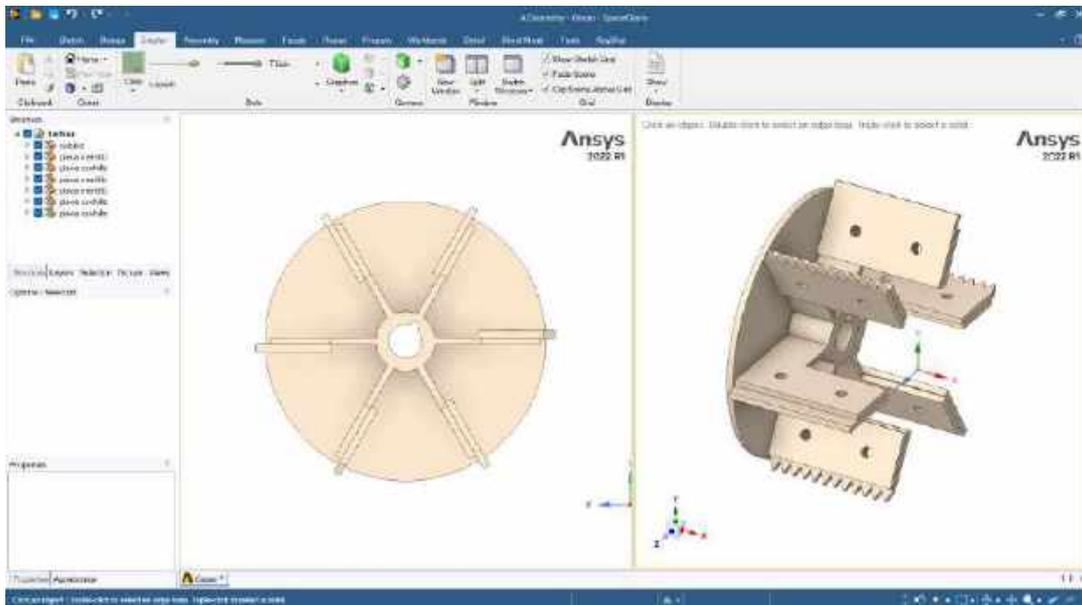
Al ser un elemento no rotativo se ha definido un ciclo de carga no reversible positivo, para el cálculo de vida a fatiga se ha definido la teoría de Goodman obteniendo un patrón lineal que se evidencia en la Ilustración siguiente.



**Ilustración 23-4:** Resultado de análisis a fatiga en la tolva  
Realizado por: (Salazar, M.; Varela, R. 2023)

#### 4.1.4. Turbina

##### 4.1.4.1. Geometría Turbina

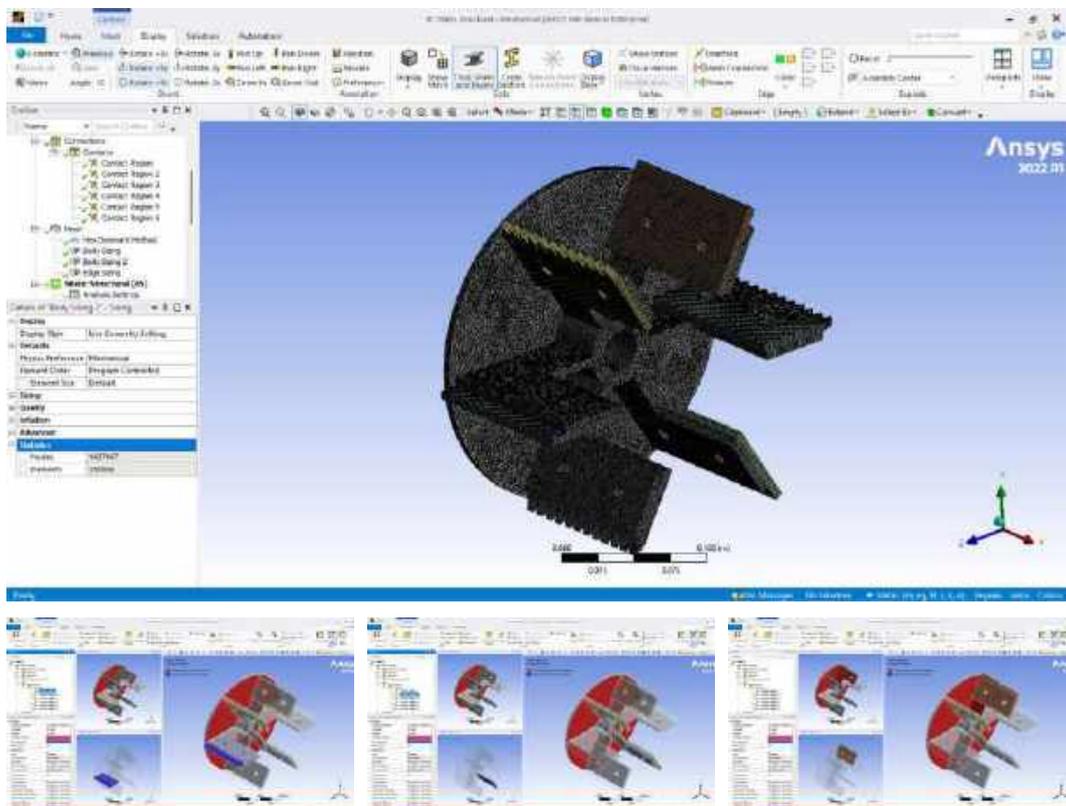


**Ilustración 24-4:** Geometría simplificada de la Turbina en SpaceClaim  
Realizado por: (Salazar, M.; Varela, R. 2023)

La geometría de la turbina resulta en un ensamble de siete piezas, en total son tres geometrías diferentes, dos corresponden a placas de impacto y corte que se distribuyen alternadamente en las palas del último elemento que sería la turbina, al llevar el ensamble completo a la herramienta de SpaceClaim resulta importante verificar las posiciones de cada componente dentro del ensamble en el programa de modelado nativo, es decir corregir restricciones de ensamble antes de guardar en formato nativo .step

#### 4.1.4.2. Malla Turbina

El mallado de la turbina sigue una metodología de trabajo algo diferente que los casos anteriores, al tener un elemento con propiedades prismáticas resulta conveniente aplicar un método Hexa-dominante en esta geometría con lo cual se asegura un porcentaje de buena calidad para el ensamble global de la turbina, luego es recomendable aplicar sizing en los bordes y el ensamble en general hasta lograr los valores de la tabla mostrada a continuación. Además se han configurado en la carpeta de conexiones los contactos, esto debido a que la geometría en cuestión corresponde a un ensamble, se han definido los seis contactos que se muestran en la siguiente Ilustración con la tipología de bonded el cual equivale a restringir el movimiento paralelo entre superficies así como el movimiento perpendicular entre caras, lo cual corresponde a la interacción ente palas y cuchillas al estar empernadas.





**Ilustración 25-4:** Mallado de la Turbina y Arreglo de Conexiones en el ensamble (contactos) en Mechanical ANSYS

**Realizado por:** (Salazar, M.; Varela, R. 2023)

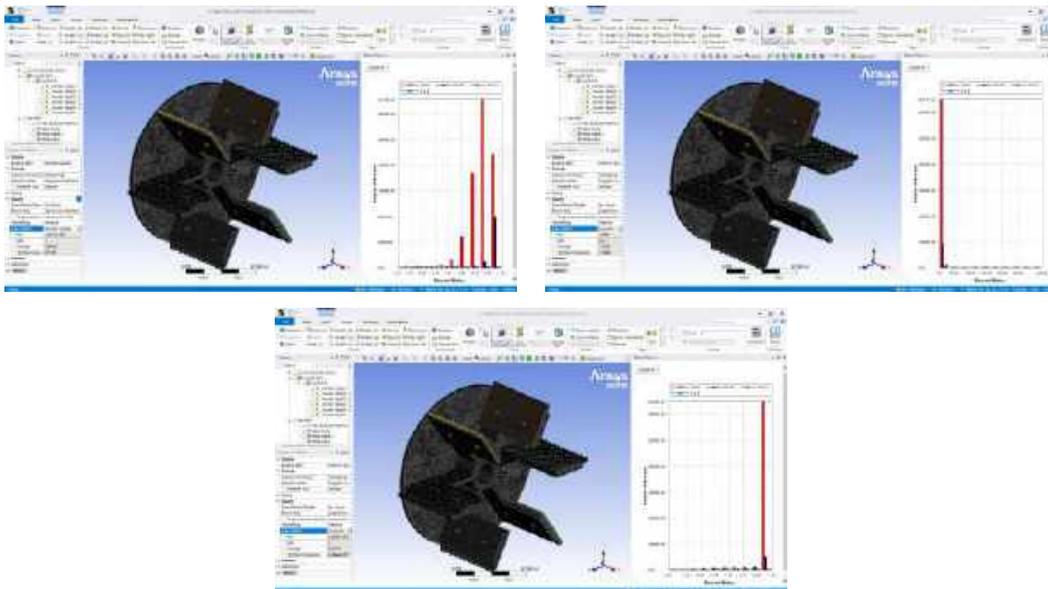
Los valores de nodos y elementos son superiores a los anteriores al tratarse de un ensamble de siete componentes como se detalla a continuación:

**Tabla 4-4:** Métricas de Malla de la Geometría de la Turbina

| Métrica         | Valor (Prom) |
|-----------------|--------------|
| Nodos           | 1437967      |
| Elementos       | 750886       |
| Element Quality | (0.84381)    |
| Aspect Ratio    | (1.8759)     |
| Jacobian Ratio  | (0.97741)    |

**Realizado por:** (Salazar, M.; Varela, R. 2023)

Para esta configuración se han obtenido los valores de 0.8438 en la métrica de element quality, 1.8759 en el promedio del ratio de aspecto y 0.977 en el promedio de ratio jacobiano, al considerar que se trata de un ensamble los valores son aceptables.

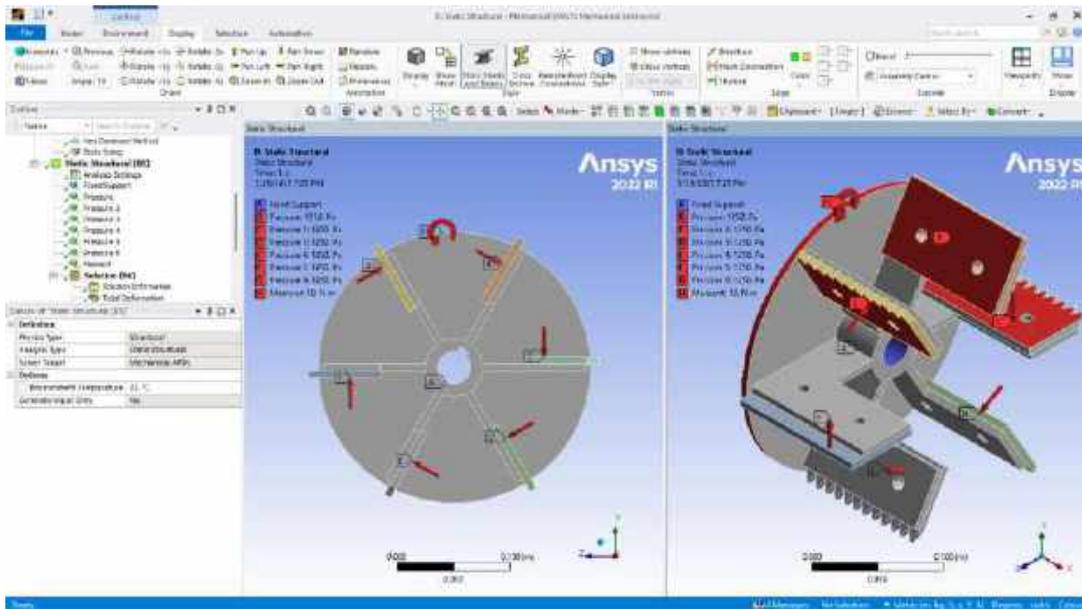


**Ilustración 26-4:** Métricas de Calidad de Malla de la Turbina

**Realizado por:** (Salazar, M.; Varela, R. 2023)

#### 4.1.4.3. Condiciones de Frontera Turbina

Para el análisis se han considerado múltiples condiciones de frontera, tal es el efecto mostrado en la siguiente Ilustración, en el interior de la cara del buje de la turbina se ha definido un soporte, al ser este el único espacio geométrico de la turbina con el eje que los sostiene, en cada una de las caras de las placas de modo perpendicular se ha definido un valor de 1250Pa de presión, se ha definido de este modo al considerar el efecto del material deshidratado y el choque de esta partículas en las aristas y la superficie de las placas, por ultimo se ha considerado también el efecto del momento torsor ya que toda la turbina durante su funcionamiento se encuentra en rotación.

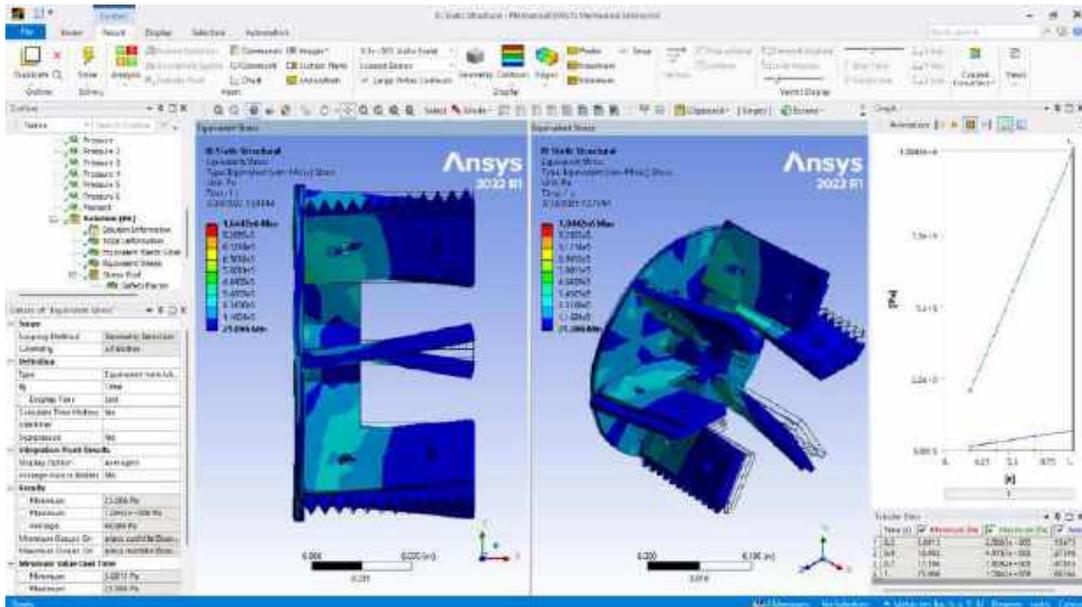


**Ilustración 27-4:** Condiciones de frontera aplicadas en la Turbina  
Realizado por: (Salazar, M.; Varela, R. 2023)

#### 4.1.4.4. Resultado Cae Turbina

##### Resultado de Esfuerzo Equivalente (von-Misses) en la Turbina:

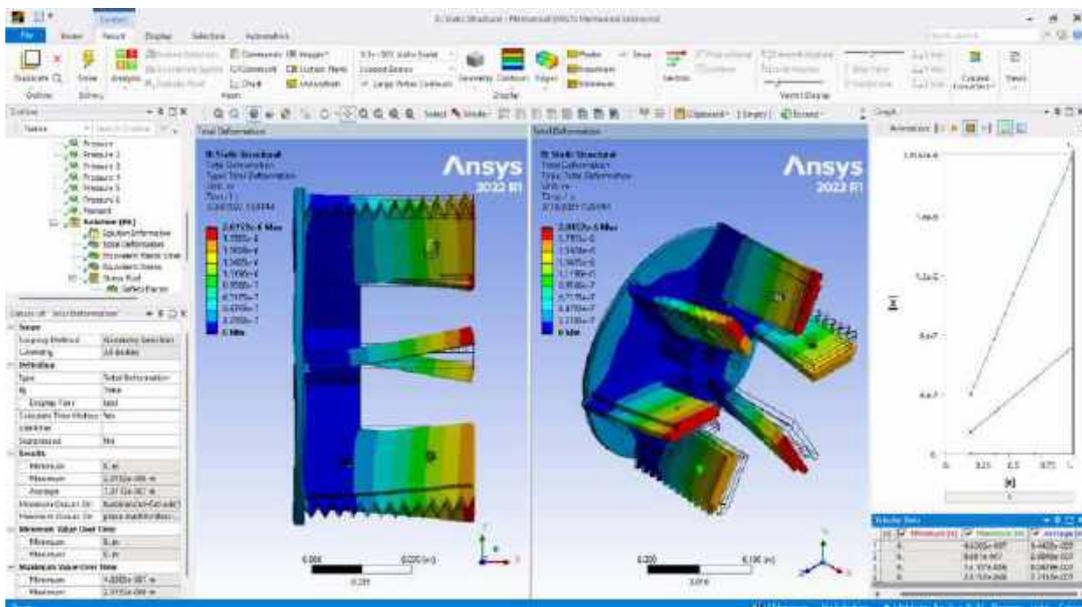
El valor máximo de esfuerzo resultante en toda la turbina es muy bajo que el límite permisible a la fluencia, dada por el tipo de acero en este caso como en todo el equipo AISI 304, lo cual se evidencia desde dos perspectivas en la siguiente ilustración.



**Ilustración 28-4:** Resultado de Esfuerzo Equivalente en la Turbina  
**Realizado por:** (Salazar, M.; Varela, R. 2023)

**Resultado de deformación total en la Turbina:**

El valor de deformación máxima detectado en los extremos en voladizo de las placas resulta en 0.00201 mm, el cual se encuentra dentro del rango permisible de deformación, ANSYS nos muestra una posible configuración en cuanto a la deformación del elemento .

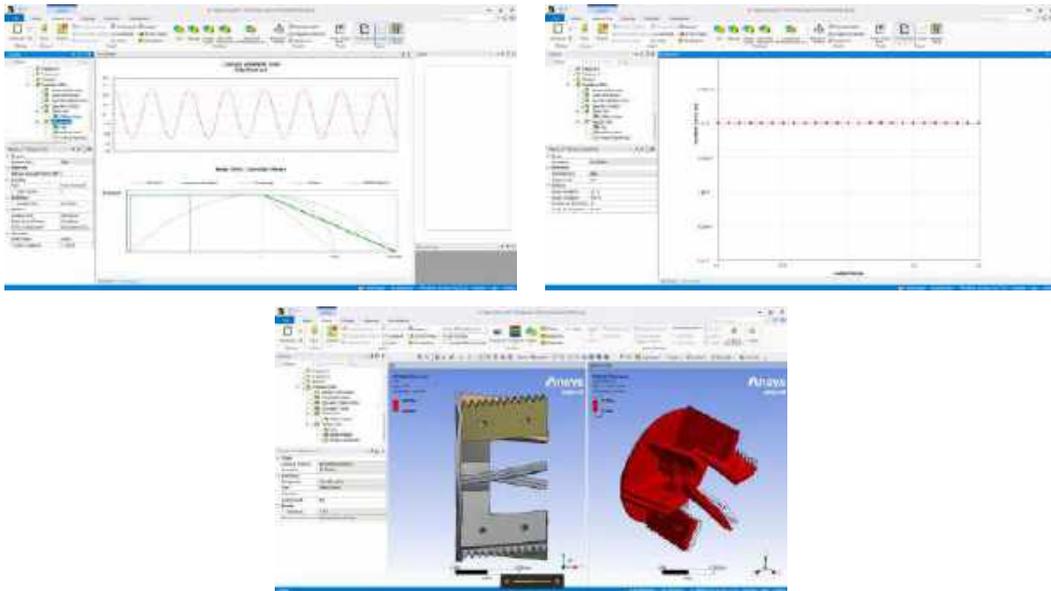


**Ilustración 29-4:** Resultado de Deformación Total en la turbina  
**Realizado por:** (Salazar, M.; Varela, R. 2023)

**Resultado del análisis a Fatiga Esfuerzo Vida en la Turbina:**

Al ser un ensamble conectado al eje para el estudio a fatiga resulta necesario considerar un ciclo de trabajo completamente reversible, adicional se ha considerado la teoría de Goodman

como referente para el cálculo de vida y factor de seguridad a fatiga la cual presenta una naturaleza lineal como se ilustra en la Ilustración posterior.



**Ilustración 30-4:** Resultado de análisis a fatiga en la turbina  
Realizado por: (Salazar, M.; Varela, R. 2023)

#### 4.2 Construcción y montaje del molino pulverizador

Se emplearon planos de construcción y manufactura para llevar a cabo cada una de las partes del molino pulverizador, detallando en cada uno de ellos los materiales y sus dimensiones, así como los procesos que se tienen que elaborar para cada uno de los mismos. Al comprender la magnitud del trabajo constructivo, se empezó por cotizar los valores de cada uno de los materiales, equipos y herramientas necesarias para llevar a cabo el proceso de construcción, se adjunta en el Anexo D la hoja de datos del motor, en el Anexo J los perfiles estructurales empleados en el bastidor, por mencionar evidencias de este proceso, una vez definidos los valores de operación como de adquisición de materiales arrancó el periodo de construcción.

De modo general se ha dividido la metodología de taller en cuatro procesos básicos de manufactura que nos permitieron ejecutar la fabricación del molino pulverizador dentro de los tiempos y cronogramas propuestos. El primer proceso de manufactura es el de corte, e esta etapa se trazó, cortó y adecuó la materia prima según los destajes definidos en la ingeniería de detalle del proyecto para componentes como el desarrollo de la cámara de pulverizado, los ángulos de la base estructural, la base del soporte de cámara, la tolva, etc. Los siguientes procesos de manufactura incluyen el rolado, el torneado y la soldadura, cada uno de estos resultó en un aprendizaje continuo que reforzó la parte teórica plasmada en la ingeniería de detalle que sirvió de guía en cada uno de los procesos.

#### **4.2.1. Proceso de Rolado**

El proceso de rolado de chapas metálicas es un método de conformado mecánico que implica el uso de rodillos para dar forma a una lámina de metal. La lámina se coloca entre los rodillos, los cuales se van ajustando gradualmente hasta que la lámina adopta la forma deseada. Este proceso puede ser en frío o en caliente, dependiendo del tipo de metal y la forma deseada. Una vez que se ha formado la lámina, se puede cortar en secciones para su uso en la fabricación de piezas metálicas.



**Ilustración 31-4:** Proceso de Rolado en el desarrollo de la cámara

**Realizado por:** (Salazar, M.; Varela, R. 2023)

Para fabricar una cámara de pulverizado de 30 cm de diámetro en acero inoxidable para un molino pulverizador, se utilizó el proceso de rolado de chapa metálica. Se seleccionó una lámina de acero inoxidable de alta calidad y se la sometió a un proceso de rolado para darle la forma cilíndrica requerida. Se utilizaron rodillos especiales y se ajustaron cuidadosamente para lograr la precisión dimensional y la uniformidad de la pared del cilindro. Una vez que se completó el rolado, se soldaron las costuras para formar un cilindro sólido y sin fugas. La cámara de pulverizado resultante tiene una superficie lisa y resistente a la corrosión, ideal para su uso en aplicaciones industriales de pulverizado de productos deshidratados.

#### **4.2.2. Proceso de Torneado**

El torneado de árboles y elementos rotativos en acero inoxidable es un proceso de mecanizado en el cual una pieza de metal se gira en un torno y se utiliza una herramienta de corte para eliminar material y dar forma a la pieza. En el caso del acero inoxidable, se requiere una velocidad de corte más lenta y un enfriamiento adecuado para evitar la deformación y la oxidación. El proceso implica la selección del tipo de herramienta, la fijación de la pieza en el torno y la programación de la velocidad y el avance del corte. El

resultado final es un eje o elemento rotativo con la forma y la precisión requeridas para su uso en una variedad de aplicaciones industriales.



**Ilustración 32-4:** Proceso de torneado en el mecanizado de la turbina

**Realizado por:** (Salazar, M.; Varela, R. 2023)

El torneado del árbol de la turbina del molino pulverizador resultó en un proceso de mecanizado de precisión que implicó la remoción de material en todas las secciones escalonadas del árbol. El árbol es relativamente corto, con menos de 27 cm de longitud, tiene una sección roscada y redondeos que disipan la posible concentración de esfuerzos. Para el torneado, se requiere una herramienta de corte de alta calidad y una velocidad de corte lenta debido a la dureza del acero AISI 304 maquinable.

Una vez que se ha dado forma al árbol, se lleva a cabo un proceso de acabado superficial para eliminar cualquier aspereza y mejorar la precisión dimensional. Este proceso implicó el uso de herramientas de corte especiales y técnicas de pulido para lograr la rugosidad superficial deseada. El resultado final es un árbol de transmisión preciso y duradero, adecuado para su uso en aplicaciones industriales exigentes.

#### **4.2.3. Proceso de Soldadura**

La soldadura con electrodo revestido E308L es un proceso comúnmente utilizado para unir piezas de acero inoxidable. El electrodo está revestido con un material que protege la soldadura de la contaminación atmosférica y agrega elementos de aleación que mejoran la resistencia a la corrosión del metal. Durante el proceso, el electrodo se sostiene en una antorcha y se aplica una corriente eléctrica que funde la punta del electrodo y la superficie de la pieza. A medida que se avanza la soldadura, el electrodo se consume y el material de relleno se deposita en la unión. La soldadura resultante es fuerte, duradera y resistente a la corrosión.



**Ilustración 33-4:** Proceso de Soldadura en el ensamble de la turbina del pulverizador  
Realizado por: (Salazar, M.; Varela, R. 2023)

El acero inoxidable es un material comúnmente utilizado en la industria alimentaria, química y petroquímica debido a su resistencia a la corrosión y la oxidación. La soldadura de acero inoxidable requiere precauciones especiales para evitar la contaminación, la oxidación y la deformación del metal base. Para garantizar la calidad de la soldadura, se siguieron varios procedimientos de soldadura (WPS) como referencia en las indicaciones del control de variables como la corriente, voltaje, velocidad de soldadura, y otros parámetros específicos que se aplicaron durante el proceso.

La limpieza adecuada de las juntas también es crítica, se garantizó que las juntas se limpien a fondo antes de la soldadura para eliminar cualquier contaminación o escala. El tipo de junta también es importante, ya que diferentes tipos de juntas requirieron diferentes técnicas de soldadura. Por ejemplo, las juntas de borde biselado demandaron un ajuste de ángulo adecuado para garantizar la penetración total de la soldadura, mientras que en las juntas a tope se empleó una técnica de soldadura adecuada para evitar la deformación del metal base. En general, el seguir un WPS de referencia y aplicar los criterios correctos de limpieza y técnicas de soldadura fueron un factor crítico para garantizar la calidad y la integridad de la soldadura en acero inoxidable.

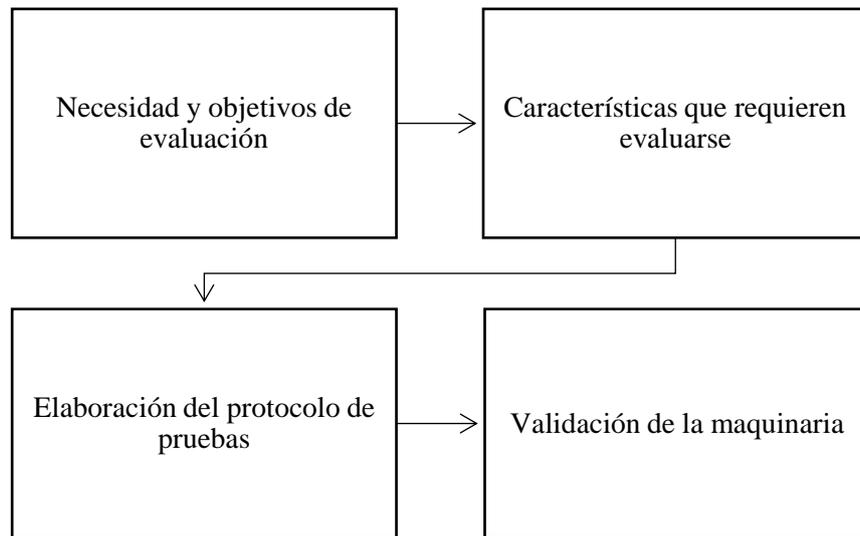
### 4.3 Protocolo de pruebas

Para poder comprobar el correcto funcionamiento de nuestro molino pulverizador, es necesario elaborar una metodología de evaluación para el desempeño de nuestro molino pulverizador, dentro del cual se tienen que elaborar varios pasos con los cuales podremos evaluar de mejor manera la funcionalidad de nuestra maquina bajo el entorno de trabajo pertinente.

Bajo este contexto, se elaboran los siguientes procesos de evaluación:

- Necesidad y objetivos de Evaluación

- Características que requieren evaluarse
- Elaboración del protocolo de pruebas
- Validación de la maquinaria



**Ilustración 34-4:** Ruta de evaluación para el molino pulverizador  
 Realizado por: (Salazar, M.; Varela, R. 2023)

### 4.3.1 Necesidad y objetivos de evaluación

La función principal del molino pulverizador, es la de elaborar harinas compactas a partir de productos deshidratados, para esto posee varios niveles de funcionamiento que permiten que este proceso de molienda se lleve a cabo, cada uno de estos procesos debe ser evaluado de manera correcta para poder verificar que se encuentren correctamente diseñados y cumplan con los valores que se preestablecieron durante el proceso de diseño, esto con el fin de aumentar la confiabilidad de la máquina, y lograr que esta tenga un desempeño adecuado durante su proceso integral de funcionamiento.

#### 4.3.1.1 Objetivo principal de evaluación

El objetivo principal de valuación para el molino pulverizador es comprobar el correcto funcionamiento de cada uno de los sistemas que lo conforman, y verificar que estos funcionen adecuadamente en conjunto para poder cumplir con la capacidad de producción esperada para el rango de desempeño in situ que se necesita para esta máquina de molienda, este objetivo por tanto se evaluará en diferentes etapas de evaluación.

#### 4.3.1.2 Primera etapa: Arranque

El molino pulverizador debe permanecer estático en su estructura durante el encendido, el motor debe funcionar adecuadamente en arranque sin carga.

#### 4.3.1.3 Segunda etapa: Movimiento sin carga

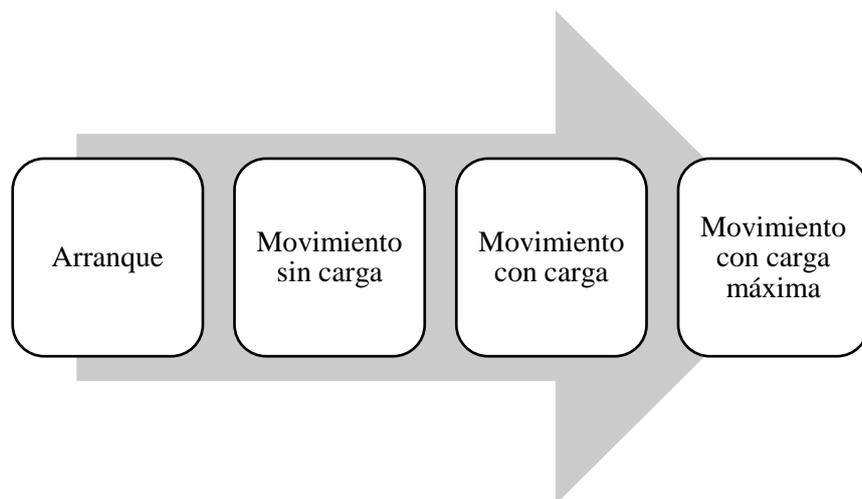
El molino pulverizador debe funcionar correctamente sin carga, sin vibraciones notorias, o sobrecalentamientos en sus elementos.

#### 4.3.1.4 Tercera etapa: Movimiento con carga media

EL molino pulverizador debe funcionar correctamente a la mitad de su capacidad, sin vibraciones notorias, atascamientos, pérdidas considerables del material producido o sobrecalentamientos en sus elementos.

#### 4.3.1.5 Cuarta etapa: Movimiento con carga máxima

El molino pulverizador debe funcionar correctamente al máximo de su capacidad, sin vibraciones notorias, atascamientos, fallos del motor, pérdidas considerables del material producido, trastabilleo o sobrecalentamientos en sus elementos.



**Ilustración 35-4:** Etapas de evaluación para el molino pulverizador  
**Realizado por:** (Salazar, M.; Varela, R. 2023)

### 4.3.2 Características que requieren evaluarse

Debido a que son varios sistemas en conjunto los que realizan el sistema de molienda, se elabora un proceso diferenciado para cada uno de ellos y se diferencian a su vez los elementos de evaluación que se necesitan para cada subsistema, independientes de las etapas anteriores.

#### 4.3.2.1 Evaluación de la estructura de soporte

Para el caso del sistema estructural de nuestro molino pulverizador, se evaluarán los siguientes elementos:

**Tabla 5-4:** Prioridad de los criterios de evaluación de la estructura de soporte

| Etapa de funcionamiento | Característica a evaluar | Tipo de evaluación | Prioridad de evaluación |
|-------------------------|--------------------------|--------------------|-------------------------|
| Sistema estructural     | Estabilidad              | Inspección Visual  | 1                       |
|                         | Vibración                | Inspección Visual  | 2                       |
|                         | Deformación              | Herramientas       | 3                       |

**Realizado por:** (Salazar, M.; Varela, R. 2023)

#### 4.3.2.2 Evaluación de la turbina de molienda

Para el caso del sistema de molienda de nuestro molino pulverizador, se evaluarán los siguientes elementos:

**Tabla 6-4:** Prioridad de los criterios de evaluación de la cámara de molienda

| Etapa de funcionamiento | Característica a evaluar | Tipo de evaluación | Prioridad de evaluación |
|-------------------------|--------------------------|--------------------|-------------------------|
| Cámara de molienda      | Estabilidad              | Inspección Visual  | 1                       |
|                         | Montaje y Desmontaje     | Inspección Manual  | 2                       |
|                         | Vibración                | Herramientas       | 3                       |
|                         | Velocidad de rotación    | Herramientas       | 4                       |
|                         | Hermeticidad             | Inspección Visual  | 5                       |
|                         | Capacidad de molienda    | Herramientas       | 6                       |

**Realizado por:** (Salazar, M.; Varela, R. 2023)

### 4.3.2 Elaboración del protocolo de pruebas

El proceso ideal para la elaboración del protocolo de pruebas tiene que ser un proceso diferenciado con la finalidad de poder llevar un mejor registro sobre las pruebas que se van realizando, así como una correcta designación de códigos y métodos de evaluación para ser empleados dentro del protocolo de pruebas, estas divisiones y métodos evaluativos se encuentran correctamente detallados en el protocolo de pruebas del ANEXO O.

### 4.3.2 Validación del protocolo de pruebas

Los resultados del protocolo de pruebas que se realizó al molino pulverizador en la localización se determinaron con el objetivo de analizar el rendimiento y el desempeño que se tiene dentro de un entorno de trabajo estable, hay que recordar que el estudio se dividió en cuatro etapas, esto con el objetivo de tener un análisis con mayor control de cada una de las partes del molino pulverizador.

#### 4.3.2.1 Resultados del protocolo de pruebas

**Tabla 7-4:** Resultados obtenidos del protocolo de pruebas en el sistema estructural

| SISTEMA ESTRUCTURAL |                |  |                   |   |
|---------------------|----------------|--|-------------------|---|
| CÓDIGO              | CARACTERÍSTICA | PARÁMETROS DE EVALUACIÓN   | MÉTODO EMPLEADO   | COMENTARIOS   |
| CS (✓)              | ESTABILIDAD    | Verificar que el molino pulverizador se mantenga estable y no presente ningún movimiento de traslación | INSPECCIÓN VISUAL | El piso de la localización no era óptimo para la prueba |
| NC ( )              |                |  |                   |   |
| CS (✓)              | VIBRACIÓN      | Verificar que el molino pulverizador no presente fenómenos vibratorios que afecten al funcionamiento   | INSPECCIÓN VISUAL | El arranque es fuerte, pero no presenta vibración       |
| NC ( )              |                |  |                   |   |
| CS (✓)              | DEFORMACIÓN    | Verificar que en el soporte estructural del molino pulverizador, no existan deformaciones permanentes  | HERRAMIENTA       |   |
| NC ( )              |                |  |                   |   |

Realizado por: (Salazar, M.; Varela, R. 2023)

Como se puede apreciar en la etapa de arranque el sistema estructural no presenta fallas debidas a los parámetros que se tienen dentro de los criterios de evaluación, siendo como tal, válido para cada una de las aplicaciones de maquinaria.

**Tabla 8-4:** Resultados obtenidos del protocolo de pruebas en la turbina de molienda

| TURBINA DE MOLIENDA |                       |   |                   |   |
|---------------------|-----------------------|---|-------------------|---|
| CÓDIGO              | CARACTERÍSTICA        | PARÁMETROS DE EVALUACIÓN  | MÉTODO EMPLEADO   | COMENTARIOS   |
| CS (✓)              | ESTABILIDAD           | Verificar que la turbina de molienda se mantenga estable dentro de la estructura  | INSPECCIÓN VISUAL |   |
| NC ( )              |                       |   |                   |   |
| CS (✓)              | MONTAJE Y DESMONTAJE  | Verificar que el montaje y desmontaje de la turbina permita una adecuada sujeción y no genere problemas de ningún tipo    | INSPECCIÓN MANUAL | Existe un mínimo margen de excentricidad entre la tapa y el sello hermético |
| NC ( )              |                       |   |                   |   |
| CS (✓)              | VIBRACIÓN             | La turbina del molino pulverizador no debe presentar ninguna clase de vibración aparente                                  | HERRAMIENTA       |   |
| NC ( )              |                       |   |                   |   |
| CS (✓)              | VELOCIDAD DE ROTACIÓN | Comprobar que la velocidad de rotación de la turbina, sea la indicada en el diseño, y sea óptima para el tipo de molienda | HERRAMIENTA       | Se encuentra en el rango 1980-20020 RPM                                     |
| NC ( )              |                       |   |                   |   |
| CS (✓)              | HERMETICIDAD          | Observar que los sellos de la turbina no permitan ninguna clase de fuga de material particulado                           | INSPECCIÓN VISUAL |   |
| NC ( )              |                       |   |                   |   |
| CS (✓)              | CAPACIDAD DE MOLIENDA | medir la capacidad de molienda a carga de trabajo que soporta la cámara de molienda                                       | HERRAMIENTA       |   |
| NC ( )              |                       |   |                   |   |

Realizado por: (Salazar, M.; Varela, R. 2023)

Como podemos apreciar el dispositivo tiene pequeños problemas que son propios de la fabricación y el montaje, pero cumple con los parámetros que se requieren para su desempeño, siendo validado con esto el proceso de diseño y construcción,

#### 4.4 Análisis de costos

Se realiza un análisis exhaustivo de cada uno de los costos que se necesitan proveer para llevar a cabo la construcción del molino pulverizador, dividiendo los gastos en costos directos e indirectos.

##### 4.4.1. Costos directos

Se consideran costos directos a todos los costos relacionados de manera general, a la construcción de la maquinaria, incluyéndose para este rubro los costos de maquinaria y herramientas de manufactura, materiales y mano de obra directa.

##### 4.4.1.1. Costo de manufactura

En este apartado se detallan todos los costos que se tienen dentro de la manufactura de cada una de las partes que componen el molino pulverizador, incluyendo para esto el costo de cada una de las herramientas de maquinaria, y se analiza el costo total, de cada hora empleada en el uso de la maquinaria, teniendo para estos casos el siguiente cuadro de costos.

**Tabla 9-4:** Costos de manufactura

| DESCRIPCIÓN  | COSTO |
|--------------|-------|
| MAQUINARIA   |       |
| HERRAMIENTAS | 50    |
| TALADRADORA  | 10    |
| AMOLADORA    | 5     |
| FRESADORA    | 250   |
| TORNO        | 140   |
| SOLDADORA    | 450   |

Realizado por: (Salazar, M.; Varela, R. 2023)

##### 4.4.1.2. Costo de mano de obra

En este apartado se detallan los costos de la mano de obra que se tienen por el uso de herramientas y máquinas de costo por hora, así como de personal técnico para el mecanizado

de piezas y sus ayudantes, mediante los cuales se asegura la correcta manufactura de las diferentes etapas de diseño.

**Tabla 10-4:** Costos de mano de obra

| DESCRIPCIÓN           | COSTO |
|-----------------------|-------|
| MANO DE OBRA          |       |
| MECÁNICO DE PRESICIÓN | 130   |
| MAESTRO SOLDADOR      | 100   |
| AYUDANTE              | 300   |

Realizado por: (Salazar, M.; Varela, R. 2023)

#### 4.4.1.3. Costo de materiales

En este apartado se detallan los costos que se requiere abordar para poder confeccionar cada una de las piezas en cuanto a materia prima, esto incluye los materiales de construcción, los materiales y elementos de transmisión mecánica, elementos de sujeción y demás elementos mecánicos, así como los elementos de circuitería y conexiones eléctricas.

**Tabla 11-4:** Costo de materiales de construcción

| DESCRIPCIÓN                                     | COSTO |
|---|-------|
| MATERIALES                                      |       |
| TUBOS DE ACERO INOXIDABLE<br>SCH 40             | 35    |
| PLANCHA DE ACERO INOXIDABLE<br>12 mm            | 27    |
| PLANCHA DE ACERO INOXIDABLE<br>6 mm             | 19    |
| PLANCHA DE ACERO INOXIDABLE<br>2 mm             | 11    |
| BOHLER M303 PARA                                | 74    |
| ANGULOS DE ACERO INOX                           | 47    |
| PLANCHA DE ACERO INOXIDABLE<br>0,7 mm           | 70    |
| DISCO LAMINADO                                  | 5     |
| RODAMIENTO 6205-2RSH                            | 6     |
| PERNO ALLEN CABEZA PLANA                        | 10    |
| INTERRUPTOR ON-OFF 30                           | 6     |
| PLATINAS  |       |
| POLEAS  | 37    |
| BANDAS  | 22    |
| SOPORTE DE RODAMIENTO $\frac{3}{4}$ 6205-<br>2Z | 11    |

|                       |     |
|-----------------------|-----|
| ENCHUFE BLINDADO 3 PT | 1   |
| ALAMBRE GEMELO 2x16   | 2.5 |
| TOMACORRIENTE         | 1.5 |
| PLATINA INOX 304      | 14  |
| MOTOR WEG 1HP         | 400 |
| EQUIPO DE PROTECCIÓN  | 27  |

Realizado por: (Salazar, M.; Varela, R. 2023)

#### 4.4.1.4. Costo directo total

Con todos los rubros anteriores, se realiza el cálculo total de los costos directos para la construcción y elaboración completa del proyecto, en la tabla siguiente se resumen los costos directos totales para poder realizar el proyecto.

**Tabla 12-4:** Costos directos totales

| DESCRIPCIÓN                           | COSTO |
|---------------------------------------|-------|
| <b>MAQUINARIA</b>                     |       |
| HERRAMIENTAS                          | 50    |
| TALADRADORA                           | 10    |
| AMOLADORA                             | 5     |
| FRESADORA                             | 250   |
| TORNO                                 | 140   |
| SOLDADORA                             | 450   |
| <b>MATERIALES</b>                     |       |
| TUBOS DE ACERO INOXIDABLE<br>SCH 40   | 35    |
| PLANCHA DE ACERO INOXIDABLE<br>12 mm  | 27    |
| PLANCHA DE ACERO INOXIDABLE<br>6 mm   | 19    |
| PLANCHA DE ACERO INOXIDABLE<br>2 mm   | 11    |
| BOHLER M303 PARA                      | 74    |
| ANGULOS DE ACERO INOX                 | 47    |
| PLANCHA DE ACERO INOXIDABLE<br>0,7 mm | 70    |
| DISCO LAMINADO                        | 5     |
| RODAMIENTO 6205-2RSH                  | 6     |
| PERNO ALLEN CABEZA PLANA              | 10    |
| INTERRUPTOR ON-OFF 30                 | 6     |
| PLATINAS                              |       |
| POLEAS                                | 37    |
| BANDAS                                | 22    |

|                                 |             |
|---------------------------------|-------------|
| SOPORTE DE RODAMIENTO ¾ 6205-2Z | 11          |
| ENCHUFE BLINDADO 3 PT           | 1           |
| ALAMBRE GEMELO 2x16             | 2.5         |
| TOMACORRIENTE                   | 1.5         |
| PLATINA INOX 304                | 14          |
| MOTOR WEG 1HP                   | 400         |
| EQUIPO DE PROTECCIÓN            | 27          |
| MANO DE OBRA                    |             |
| MECÁNICO DE PRESICIÓN           | 130         |
| MAESTRO SOLDADOR                | 100         |
| AYUDANTE                        | 300         |
| <b>TOTAL</b>                    | <b>2261</b> |

Realizado por: (Salazar, M.; Varela, R. 2023)

#### 4.4.2. Costos indirectos

Los costos indirectos son los gastos que no son necesarios para la elaboración directa de la máquina, pero que son requeridos para la correcta ejecución de las diferentes partes del proyecto.

##### 4.4.2.1. Costo de ingeniería

Se tiene para este caso un costo de ingeniera referente a los servicios profesionales que se requieren para el diseño y modelación de cada una de las partes de la maquinaria, en este caso dado que el gasto de este rubro corre por cuenta propia, no se tomará en cuenta y tendrá un valor nulo dentro del total de gastos.

##### 4.4.2.2. Costo indirecto total

En cuanto los costos indirectos se cuentan entre otras cosas, los costos por elementos de cuidado de la salud, costos de ingeniería en el caso de ser requerida alguna asesoría en áreas específicas, los costos de imprevistos, así como el transporte general de todos los elementos y las posibles movilizaciones para poder llevar a cabo el proyecto de manera adecuada.

**Tabla 13-4:** Costos indirectos totales

| DESCRIPCIÓN | COSTO |
|-------------|-------|
|-------------|-------|

|                                   |            |
|-----------------------------------|------------|
| BIOSEGURIDAD E HIGIENE INDUSTRIAL | 160        |
| INGENIERÍA                        | 0          |
| IMPREVISTOS                       | 226        |
| TRANSPORTE                        | 200        |
| <b>TOTAL</b>                      | <b>586</b> |

Realizado por: (Salazar, M.; Varela, R. 2023)

#### 4.4.3. Costo total del molino pulverizador

**Tabla 14-4:** Costo total acumulado del molino pulverizador

| DESCRIPCIÓN       | COSTO       |
|-------------------|-------------|
| COSTOS DIRECTOS   | 2261        |
| COSTOS INDIRECTOS | 586         |
| <b>TOTAL</b>      | <b>2847</b> |

Realizado por: (Salazar, M.; Varela, R. 2023)

Se tiene un valor total de elaboración de la maquinaria de 2847 dólares americanos, valor que es concordante con el análisis de competencia que se realizó en el análisis QFD y que demuestra su viabilidad en el mercado ecuatoriano.

#### 4.5 Manual de seguridad

Debido a que el pulverizador se considera una máquina rotativa de considerable peligrosidad, y al encontrarse en movimiento constante debido a las condiciones de operación de esta, es natural que este tipo de máquina genere desgaste y por tanto riesgos en su operabilidad si no se mantienen ciertas normas de desarrollo y operación, para lo cual se detalla a continuación, un conjunto de advertencias y precauciones para el personal operativo que esté a cargo de su funcionamiento.

**Tabla 15-4:** Consideraciones para el funcionamiento de un molino pulverizador

| Consideraciones de funcionamiento del molino Pulverizador |   |
|---|---|
| Advertencias de funcionamiento                            | Siempre que se quiera encender el equipo, el operario de esta acción deberá ser debidamente capacitado acerca del manejo adecuado del equipo, para que esta acción se lleve a cabo de manera correcta y segura.<br><br>Bajo las siguientes instrucciones: |

|                                |   |
|--------------------------------|---|
|                                | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Lectura adecuada del manual de seguridad y sus instrucciones, así como el conocimiento previo de cada mantenimiento requerido y detallado de la máquina, incluyendo periodos, herramientas y posibles fallas.</li> <li>• Correcta utilización de máquinas y herramientas requeridas tanto para la puesta a punto como para el mantenimiento preventivo o correctivo.</li> <li>• Notar, comprender y asimilar la simbología adjunta a la máquina, entender su nomenclatura y obedecer sus indicaciones de manera prolija.</li> <li>• Realizar un correcto régimen de lubricación en los elementos rotativos detallados a continuación en el tiempo detallado por los protocolos de mantenimiento debido a que esto facilitará la seguridad de los elementos rotativos.</li> <li>• Antes de encender la máquina, comprobar que todos los elementos rotativos puedan girar libremente, y no haya ningún objeto que impida su correcta rotación, poniendo especial énfasis en la turbina de molienda.</li> </ul> |
| Precauciones de funcionamiento | <ul style="list-style-type: none"> <li>• El pulverizador de frutos deshidratados únicamente puede ser utilizado para ese fin, queda terminantemente prohibido su uso para otros productos o elementos debido a que esto puede afectar la integridad del diseño para el que fue creado el molino pulverizador.</li> <li>• Observar de manera visual el estado de la máquina, sus posibles desajustes, objetos intrusos, o posibles malas ubicaciones antes de poner a funcionar la máquina</li> <li>• Verificar de manera regular el sobrecalentamiento en los elementos, especialmente en los elementos motrices, y soportes de elementos motrices.</li> <li>• Verificar que la máquina y sus alrededores se encuentren ordenados y limpios, evitando objetos que se encuentren adyacentes a la misma y puedan llegar a afectar su funcionamiento adecuado.</li> <li>• Previo a un posible mantenimiento o revisión eléctrica es necesario verificar que el circuito de la máquina se encuentre</li> </ul>  |

|  |  |
|--|--|
|  | completamente desenergizado con el fin de evitar posibles lesiones por quemadura eléctrica o debida a alimentaciones a 220 V   |
| Precauciones de funcionamiento eléctrico a 220 V | <ul style="list-style-type: none"> <li>• De manera diaria, verificar las conexiones cableadas en el tablero general.</li> <li>• Antes de encender el pulverizador verificar voltajes salientes dentro de la fuente de alimentación y transformadores eléctricos.</li> <li>• No colocar elementos magnéticos cerca de los elementos eléctricos del pulverizador, ni sus cercanías.</li> <li>• Nunca operar la máquina con las manos o cualquier parte del cuerpo mojada o con una humedad considerable.</li> <li>• Prevenir y evitar el contacto directo de cualquier tipo de fluido con el circuito eléctrico del molino pulverizador.</li> <li>• Respetar las señaléticas de riesgo eléctrico presentes en la máquina para poder evitar así quemaduras y lesiones.</li> </ul> |

Realizado por: (Salazar, M.; Varela, R. 2023)

#### 4.6 Plan de Mantenimiento

El objetivo de este apartado es elaborar un plan de mantenimiento de manera analítica y específica para poder controlar de mejor manera los parámetros que se requieren para poder mantener las condiciones de operación de manera adecuada de nuestro pulverizador, de acuerdo con las recomendaciones de la literatura especializada en máquinas de trituración,

##### 4.6.1. Hoja de Datos técnicos

En primera instancia es necesario elaborar una ficha de tipo técnico para nuestro pulverizador, con las especificaciones obtenidas del diseño de detalle realizado, es decir, un resumen de las características de la maquinaria necesarias para poder realizar un mantenimiento adecuado.

**Tabla 16-4:** Hoja de Datos Técnicos del molino pulverizador

|   |           |                       |             |
|---|-----------|-----------------------|-------------|
|  | DATASHEET | No.1 Código<br>132322 | Página. 1/1 |
|   |           | EIM-TM-03-<br>2023    |             |

| CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES        |   |                                 |                  |
|------------------------------------|---|---------------------------------|------------------|
| Función                            | El Molino pulverizador tiene como finalidad el pulverizar frutos deshidratados mediante un proceso de molienda por cuchillas y placas de impacto en un rotor, con el cual se elabora polvo a una granulometría específica de aproximadamente 150 a 160 micras, para esto emplea un motor de 3 HP, que trabaja a una velocidad de 1700 RPM y está construido con acero inoxidable AISI 304 de grado alimenticio para asegurar que sea completamente apto para elaborar polvos para el consumo humano bajo los estándares de procesos alimenticios del País |                                 |                  |
| ESPECIFICACIONES TÉCNICAS          |   |                                 |                  |
| Máquina                            | Diámetro de materia prima (mm)  | Diámetro de producto final (en) | capacidad (Kg/h) |
| PULVERIZADOR                       | 20  | 150-250                         | 30               |
| Potencia del motor                 | Velocidad (RPM)   | Espacio de trabajo (mm)         | peso (Kg)        |
| (hp)                               |   |                                 |                  |
| 3                                  | 1700  | 1x1008x610                      | 180              |
| TRANSMISIÓN DE POTENCIA            |   |                                 |                  |
| correas                            |   | polea                           | material         |
| aceite SAE 10w para motor PHG B134 |   | Tipo V, 2 canales, PHP          | Fundición Gris   |
| observaciones                      |   |                                 |                  |

**Realizado por:** (Salazar, M.; Varela, R. 2023)

Esta hoja de datos técnicos deberá ser revisada minuciosamente por el personal operativo encargado de la puesta a punto y correcto desempeño de la máquina, debido a que es necesario conocer las características de la misma para asegurar que su funcionamiento sea óptimo y que su vida útil no se vea mermada.

#### **4.6.2. Función del personal operativo**

En la siguiente tabla se muestra de manera detallada cada una de las funciones que requiere realizar cada una de las personas encargadas del mantenimiento dentro del entorno de trabajo de la maquina pulverizadora.

**Tabla 17-4:** Operaciones a cargo de cada personal operativo

| Serial  | Puesto de trabajo     | Actividad   |
|---------|-----------------------|---|
| JP      | Jefe de planta        | Es el responsable directo de garantizar los valores de producción, así como el cumplimiento directo del mantenimiento del pulverizador          |
| MEC     | Mecánico              | Responsable directo del mantenimiento y correcta operación de la maquina durante toda su vida útil, primordialmente de sus elementos mecánicos. |
| ELEC    | Eléctrico             | Vela por el adecuado funcionamiento de la parte eléctrica de la maquina   |
| MECAUX  | Auxiliar de mecánico  | Sirve de ayuda para que el mecánico realice cada una de sus funciones.  |
| ELECAUX | Auxiliar de eléctrico | Ayuda al eléctrico en sus funciones de mantenimiento  |

Realizado por: (Salazar, M.; Varela, R. 2023)

#### 4.6.3. Mantenimiento preventivo

**Tabla 18-4:** Plan de mantenimiento del molino pulverizador

|   |                                    |   |                 |            |
|---|------------------------------------|---|-----------------|------------|
|  | PLAN DE MANTENIMIENTO PULVERIZADOR | Codificación  | EIM-PM          | Página 1-1 |
| <b>Recomendaciones</b>  |                                    | Realizar de manera minuciosa cada una de las actividades aquí citadas para garantizar el correcto funcionamiento del pulverizador |                 |            |
| <b>Orden diaria de mantenimiento</b>  |                                    |   |                 |            |
| <b>Actividad programada</b>   |                                    |   | <b>Personal</b> |            |
| Inspección visual del estado general de la máquina                                  |                                    |   | JP- MEC         |            |
| lubricación de los elementos  |                                    |   | MECAUX          |            |
| <b>Orden mensual de mantenimiento</b>   |                                    |   |                 |            |

| <b>Actividad programada</b>                            | <b>Personal</b>   |
|--|-------------------|
| Ajuste y verificación de los elementos de fijación     | MEC               |
| Verificación de alineación de elementos de transmisión | MEC Y MECAUX      |
| Pruebas de estabilidad y arranque del motor eléctrico  | ELEC Y<br>ELECAUX |
| Inspección del estado de los elementos flexibles       | MEC Y MECAUX      |
| <b>Orden anual de mantenimiento</b>                    |                   |
| <b>Actividad programada</b>                            | <b>Personal</b>   |
| Reemplazo de elementos de sujeción                     | MEC Y MECAUX      |
| Relleno de soldaduras defectuosos                      | MEC Y MECAUX      |
| Limpieza con ácido de Acero inoxidable                 | MEC Y MECAUX      |
| Observaciones  |                   |

**Realizado por:** (Salazar, M.; Varela, R. 2023)

El protocolo de inspección visual se encuentra en el anexo D.

## CONCLUSIONES

- La elaboración de documentos CAD 3D de las alternativas propuestas, incrementan notoriamente la facilidad de percibir las fortalezas y debilidades de cada uno de los sistemas propuestos, permitiendo así al ingeniero seleccionar la opción más óptima como solución a los requerimientos definidos en el QFD.
- Se determinó que la mejor alternativa para dar solución a la problemática es un molino pulverizador de cuchillas de impacto, con una capacidad de 20 Kg/h, un peso aproximado de 150 Kg, y medidas generales de 150 x 70 x 160 mm.
- Se diseñó un pulverizador, cuyo tamaño máximo de ingreso de material es de 4 cm el cual lo reducirá a un tamaño mínimo de 500  $\mu\text{m}$ , esta será empleada como un método para obtener harina de cualquier producto deshidratado con un porcentaje de humedad menor al 11 %.
- Se seleccionaron elementos estándares de diferentes catálogos, así como se realizó el diseño de determinados componentes, los cuales, tras un redimensionamiento analítico, se procedió a corroborar la validez de este mediante método de elemento finito, comprobándolo desde un punto de vista estático y dinámico de tal forma que se es posible aseverar un número de ciclos adecuado para considerarse vida infinita.

## **RECOMENDACIONES**

- Se recomienda por motivos de seguridad de la máquina y su funcionamiento, no elevar la velocidad de operación del molino pulverizador dado a que esto pudiere ocasionar que el material salte de la boca de la tolva y genere desperdicios innecesarios traducidos en pérdidas de la producción.
- Se debe instalar la maquinaria para pulverización en una superficie plana sin deslizamiento, esto con el objetivo de evitar las deformaciones debidas a las vibraciones, así como las posibles desalineaciones dadas por estas pequeñas cargas cíclicas.

## BIBLIOGRAFÍA

**ADEYERI M.; et al.** "Design of a Pulverizing and Packaging Machine for Vegetable Powder Production". *Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*, vol. 10, nº 15 (2018), (Sudáfrica) pp. 1336-1347. [Consulta: 20 de Agosto 2022]. Disponible en: (PDF) Design of a Pulverizing and Packaging Machine for Vegetable Powder Production (researchgate.net)

**AVNER, Sidney.** *Introducción a la metalurgia física*, 2 da ed. Monterrey-México: McGRAW-HILL, 1998, pp. 365-372.

**AWS D1.6/D.16M:2017 AMD1.** Estructural Welding Code Stainless Steel

**BARBOSA, G., & ORTEGA, E., & HONG, Y.** *Food Powders: Physical Properties, Processing, and Functionality* [en línea]. New York-USA: Kluwer-Academic/Plenum Publishers, 2005. [Consulta: 21 enero 2022]. Disponible en: [https://books.google.com.ec/books?hl=en&lr=&id=G1\\_KktVE4YUC&oi=fnd&pg=PA3&dq=related:6mnqy36IeoUJ:scholar.google.com/&ots=W7ghDtdO5b&sig=e1dFbewNwzkmPe14lpgnePDZBFU&redir\\_esc=y#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.ec/books?hl=en&lr=&id=G1_KktVE4YUC&oi=fnd&pg=PA3&dq=related:6mnqy36IeoUJ:scholar.google.com/&ots=W7ghDtdO5b&sig=e1dFbewNwzkmPe14lpgnePDZBFU&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false)

**BAUDELAIRE, E.** *Grinding for food powder production* [en línea]. London-England: Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition, 2013. [Consulta: 11 agosto 2022]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780857095138500066>

**BAZURTO, G., & MERO, L.** Porcentajes de pulpas deshidratadas de Piña y Mango como fuente de fibra en la Obtención de galletas [En línea] (Trabajo de titulación). Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí MANUEL FELIX LÓPEZ, Manabí, Ecuador. 2022. p.26. [Consulta: 2022-11-11]. Disponible en: <https://repositorio.es-pam.edu.ec/handle/42000/1753>

**BHANDARI, B.; & BANSAL, N.; & ZHANG, M.; & SCHUCK, P.** *Handbook of food powders: Processes and properties* [en línea]. New Delhi-India: Woodhead Publishing Limited, 2013. [Consulta: 03 agosto 2022]. Disponible en: [https://books.google.com.ec/books?hl=en&lr=&id=BAJEAgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=related:yCPdYF4DfosJ:scholar.google.com/&ots=oMca-faxI4&sig=olNEI4DJSStG5DNx6W1vWDGvsOe8&redir\\_esc=y#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.ec/books?hl=en&lr=&id=BAJEAgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=related:yCPdYF4DfosJ:scholar.google.com/&ots=oMca-faxI4&sig=olNEI4DJSStG5DNx6W1vWDGvsOe8&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false)

**BOSSERT, J.** *Quality Function Deployment: The Practitioner's Approach* [en línea]. New York-USA: CRC Press LLC, 1997. [Consulta: 15 diciembre 2022]. Disponible en: [https://books.google.com.ec/books?hl=en&lr=&id=5tA4EAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=qfd+book&ots=tP5w9vfDTu&sig=YthYwIVyXYzg51XNOFKELlnBUu4&redir\\_esc=y#v=onepage&q=qfd%20book&f=false](https://books.google.com.ec/books?hl=en&lr=&id=5tA4EAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=qfd+book&ots=tP5w9vfDTu&sig=YthYwIVyXYzg51XNOFKELlnBUu4&redir_esc=y#v=onepage&q=qfd%20book&f=false)

**BUDYNAS, Richard ;& NISBETT, Keith.** *Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley. Igarss*, 8 va ed. Monterrey-México: Mc-GRAW-HILL, 2008, pp. 3-26.

**CAJAMARCA, Diego I.; & BAÑO, Darío C.** "Sostenibilidad medio ambiental en el procesamiento de frutas deshidratadas ecuatorianas". *ProSciences*, vol. 4, n° 35 (1994), (Ecuador) p. 2. [Consulta: 20 de Agosto 2022]. ISSN: 2588-1000. Disponible en: <https://scholar.archive.org/work/tnpdmp5sl5hthbmx4p4a5koz6q/access/wayback/http://www.journalprosciences.com/index.php/ps/article/download/263/349>

**CALDERON, J.** Gestión de mantenimiento preventivo como herramienta para la optimización de procesos en la industria [En línea] (Trabajo de titulación). Universidad de Pamplona, Pamplona, Colombia. 2020. pp. 36-49. [Consulta: 2022-07-16]. Disponible en: [Calderon\\_2021\\_TG.pdf \(unipamplona.edu.co\)](#)

**CALÍN, Ángel S; et al.** " Comparison of Traditional and Novel Drying Techniques and Its Effect on Quality of Fruits, Vegetables and Aromatic Herbs". *MDPI Foods*, vol. 9, n° 9 (2020), (Corea del Sur) pp. 15-16. [Consulta: 18 de Marzo 2022]. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2304-8158/9/9/1261>

**CUADRADO, I., & RUEDA, J.** Diseño y construcción de un Molino de Martillos [En línea] (Trabajo de titulación). Universidad San Francisco de Quito, Quito, Ecuador. 2009. pp. 5-22. [Consulta: 2022-03-26]. Disponible en: <http://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/1126>

**DEL ROCÍO, E.** Aplicación del Apartado Numérico Ocho de la Norma ISO 9001-2015 para la Optimización del Proceso de Producción de Frutas Deshidratadas: Fragaria (Fresa) y Malus Doméstica (Manzana), en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo [En línea] (Trabajo de titulación). (Maestría) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2022. pp. 15-21. [Consulta: 2022-09-09]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/17108/1/20T01544.pdf>

**DEL VALLE, C., & MINA, L.** Análisis Sensorial en Frutas Deshidratadas [En línea] (Trabajo de titulación). Universidad del Valle, Cali, Colombia. 2021. pp. 11-35. [Consulta: 2022-01-05]. Disponible en: <https://bibliotecadigital.univalle.edu.co/bitstream/handle/10893/21330/Analisis-Sensorial-Frutas-Valle-Cristhian-3753-V181.pdf>

**ESPINOZA Y., & MORI, A.** Aplicación del Estudio del Trabajo para aumentar la productividad en el Molino El Comanche S.R.L, San José [En línea] (Trabajo de titulación). Universidad César Vallejo, Chepén, Perú. 2019. pp. 11-15. [Consulta: 2022-08-04]. Disponible en: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/47843>

**FELLOWS, P.** *Food Processing Technology: Principles and Practice* [en línea]. New York-USA: Woodhead Publishing Limited, 2000. [Consulta: 20 septiembre 2022]. Disponible en: [https://www.webpal.org/SAFE/aaarecovery/2\\_food\\_storage/Food Processing Technology.pdf](https://www.webpal.org/SAFE/aaarecovery/2_food_storage/Food Processing Technology.pdf)

**FITZPATRICK, John J.; & AHRNÉ, Lidia H.** " Food powder handling and processing: Industry problems, knowledge barriers and research opportunities". *Chemical Engineering and Processing*, vol. 1, n° 44 (2005), (Irlanda) pp. 209-214. [Consulta: 11 de Agosto 2022]. Disponible en: [https://www.researchgate.net/profile/LiliaAhrne/publication/235257368\\_Food\\_powder\\_handling\\_and\\_processing\\_Industry\\_problems\\_knowledge\\_barriers\\_and\\_research\\_opportunities/links/02bfe510ac521c10bb000000/Food-powder-handling-and-processing-Industry-problems-knowledge-barriers-and-research-opportunities.pdf](https://www.researchgate.net/profile/LiliaAhrne/publication/235257368_Food_powder_handling_and_processing_Industry_problems_knowledge_barriers_and_research_opportunities/links/02bfe510ac521c10bb000000/Food-powder-handling-and-processing-Industry-problems-knowledge-barriers-and-research-opportunities.pdf)

**FLINN, Richard ;& TROJAN, Paul.** *Materiales de ingeniería y sus aplicaciones*, 3 va ed. Monterrey-México: Mc-GRAW-HILL, 1991, pp. 118-245.

**FOLKHARD, E.** *Welding Metallurgy of Stainless Steels* [en línea]. New York-USA: Springer-Verlag Wien, 2012. [Consulta: 03 abril 2022]. Disponible en: [https://books.google.com.ec/books?hl=en&lr=&id=Gvn0CAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA1&dq=welding+procedure+stainless+steel+bok&ots=hy7Mw\\_H3qX&sig=yLCy910OLBQ-a7pngwWO30zVvPc&redir\\_esc=y#v=onepage&q=welding%20procedure%20stainless%20steel%20bok&f=false](https://books.google.com.ec/books?hl=en&lr=&id=Gvn0CAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA1&dq=welding+procedure+stainless+steel+bok&ots=hy7Mw_H3qX&sig=yLCy910OLBQ-a7pngwWO30zVvPc&redir_esc=y#v=onepage&q=welding%20procedure%20stainless%20steel%20bok&f=false)

**FREIRE, A., & LALBAY, M.** Implementación de un Molino de Martillos para la Producción de Harina de Trigo [En línea] (Trabajo de titulación). Universidad Técnica de Cotopaxi, La Maná, Ecuador. 2022. pp. 20-24. [Consulta: 2022-03-06]. Disponible en: <http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/8473/1/UTC-PIM-000431.pdf>

**FREIRE, Wilma B.; & WATERS, Willian F.** "Semáforo nutricional de alimentos procesados: estudio cualitativo sobre conocimientos, comprensión, actitudes y prácticas en el ecuador". *Rev Peru Med Exp Salud Publica*, vol. 20, n° 5 (2017), (Perú) pp. 11-17.

**GUALOTO, P.** Utilización de frutas deshidratadas en la alta cocina aportando aroma, color, sabor [En línea] (Trabajo de titulación). Universidad de las Américas, Quito, Ecuador. 2018. pp. 43-56. [Consulta: 2022-08-08]. Disponible en: <https://dspace.udla.edu.ec/handle/33000/10430>

**GUAYLLAS, L., & MONTERO, J.** Diseño y Construcción de un Molino de Martillos con Tamiz Intercambiable, para Pulverizar Yeso Crudo [En línea] (Trabajo de titulación). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2012. pp. 40-56. [Consulta: 2022-07-09]. Disponible en: <http://dspace.espech.edu.ec/bitstream/123456789/2029/1/96T00171.pdf>

**HUAMÁN, D., & NORABUENA, S.** Distribución y Simulación Matemática del Tamaño de Partícula de Harinas Comerciales [En línea] (Trabajo de titulación). Universidad Nacional del Callao, Callao, Perú. 2021. pp. 20-31. [Consulta: 2022-16-02]. Disponible en: [http://repositorio.unac.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12952/6002/TESIS\\_PREGRADO\\_HUAMAN\\_NORABUENA\\_FIPA\\_2021.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unac.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12952/6002/TESIS_PREGRADO_HUAMAN_NORABUENA_FIPA_2021.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

**HWABIN, Jung X.; & YOUN, Ju L.; & WON, Byong Y.** " Effect of Moisture Content on the Grinding Process and Powder Properties in Food: A review ". *MDPI Processes*, vol. 6, n° 69 (2018), (Corea del Sur) p. 69. [Consulta: 18 de Agosto 2022]. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2227-9717/6/6/69>

**IBARRA, J.** Diseño de un molino de ají paprika en industrias Fraclen SRL [En línea] (Trabajo de titulación). Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo, Perú . 2018. pp. 37-40. [Consulta: 2022-08-08]. Disponible en: [Ibarra Soriano .pdf \(uncp.edu.pe\)](#)

**INDURA.** *Manual de Sistemas y Materiales de Soldadura* [en línea]. Cerrillos-Chile: INDURA S.A, 2012. [Consulta: 13 abril 2022]. Disponible en:

<http://www.indura.com.ec/Descargar/Manual%20de%20soldadura?path=%2Fcontent%2Fstorage%2Fec%2Fbiblioteca%2F4597905076cb48238c6638290f8adad8.pdf>

**INEN ISO 1996-2.** Acústica. Descripción, Medición Y Evaluación Del Ruido Ambiental. Parte 2: Determinación De Los Niveles De Ruido Ambiental (ISO 1996-2:2007, IDT)

**JAPA L., & ACURIO, L.** Efectos de los Métodos de Deshidratación de Frutas Sobre sus Propiedades Nutricionales y Sensoriales [En línea] (Trabajo de titulación). Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador. 2022. pp. 34-60. [Consulta: 2022-07-09]. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/34929/1/AL%20820.pdf>

**LORA, A., & JAIMES, J.** Diseño y construcción de un procesador de alimentos para elaboración de canastillas de patacón de diferentes tamaños [En línea] (Trabajo de titulación). Universidad Autónoma de Bucaramanga, Bucaramanga, Colombia. 2021. pp. 57-76. [Consulta: 2022-05-06]. Disponible en: [https://repository.unaVb.edu.co/bitstream/handle/20.500.12749/15314/2021\\_Tesis\\_Jhon\\_Lora\\_Chincha.pdf?sequence=4](https://repository.unaVb.edu.co/bitstream/handle/20.500.12749/15314/2021_Tesis_Jhon_Lora_Chincha.pdf?sequence=4)

**MARTINEZ, José M.; & GONZALEZ, Raúl.** "Molino pulverizador dual". Revista del Sistema de Ciencia, Tecnología e Innovación, vol. 6, n° 1 (2022), (Ecuador) p. 2. [Consulta: 10 de Agosto 2022]. ISSN: 2412-1334. Disponible en: <https://revistas.sena.edu.co/index.php/sennova/article/view/5417/5500>

**MUNSELL.** *USDA Color Standard* [Blog]. [Consulta: 15 diciembre 2022]. Disponible en: <https://munsell.com/color-products/color-standards/usda-color-standard/>

**NITRIGUAL, C.** Implementación del Sistema de Aseguramiento de Calidad Basado en HACCP para la Línea de frutas Deshidratadas. [En línea] (Trabajo de titulación). Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile. 2010. pp. 4-18. [Consulta: 2022-11-07]. Disponible en: <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2010/fan731i/doc/fan731i.pdf>

**NTE INEN 273:1990.** Melazas. Determinación de la densidad en grados Brix

**NTE INEN ISO 712:2013.** Cereales y Productos de Cereales. Determinación del contenido de humedad. Método de referencia (IDT)

**REVELLE, J.; & MORAN, J.; & COX, C.** *The QFD Handbook* [en línea]. New York-USA: John Wiley & Sons INC, 1998. [Consulta: 16 febrero 2022]. Disponible en:

[https://books.google.com.ec/books?hl=en&lr=&id=\\_ngbWPXF118C&oi=fnd&pg=PR11&dq=qfd+book&ots=vn9y8wL6jh&sig=KIa5HIMNtF4vzUsi199fyVWJ2Cs&redir\\_esc=y#v=onepage&q=qfd%20book&f=false](https://books.google.com.ec/books?hl=en&lr=&id=_ngbWPXF118C&oi=fnd&pg=PR11&dq=qfd+book&ots=vn9y8wL6jh&sig=KIa5HIMNtF4vzUsi199fyVWJ2Cs&redir_esc=y#v=onepage&q=qfd%20book&f=false)

**REYES, J.** *Evolución y tipos de molinos harineros* [en línea]. Granada-España: Asukaría Mediterránea, 2001. [Consulta: 10 mayo 2022]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=267831>

**RODRIGUEZ, Elizet S.; & BENITEZ, Elaine C.; & NUÑEZ, Margarita V.** "Chocolate Reducido en Azúcar Obtenido por Tecnología de Molinos de Bolas ". *Ciencia y Tecnología de los Alimentos*, vol. 29, n° 2 (2010), (Cuba) pp. 17-23.

**RODRIGUEZ, M.** Obtención de frutos deshidratados de calidad diferenciada mediante la aplicación de técnicas combinadas. [En línea] (Trabajo de titulación). Universidad Nacional de la Plata, Olavarría, Argentina. 2013. pp. 2-21. [Consulta: 2022-12-11]. Disponible en: [http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/29845/Documento\\_completo\\_\\_.pdf?sequence=1](http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/29845/Documento_completo__.pdf?sequence=1)

**RUEDA, D., & SÁNCHEZ, G.** Diseño y Construcción de una Máquina para Acondicionamiento Final de Chocolate [En línea] (Trabajo de titulación). Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador. 2015. pp. 38-40. [Consulta: 2022-06-06]. Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/10381/4/CD-6179.pdf>

**SALAS, C.** Diseño de un molino de rodillos para Molienda de Granos, Destinado al Área de Alimentos CESTTA-ESPOCH [En línea] (Trabajo de titulación). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2012. pp. 15-27. [Consulta: 2022-07-07]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/1982/1/96T00161.pdf>

**SMITH, P.** *Introduction to Food Process Engineering* [en línea]. London-England: Springer, 2000. [Consulta: 20 agosto 2022]. Disponible en: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-1-4419-7662-8/cover>

**SOLANO, E., & MENDOZA, V., & YONG, F.** Propuesta de mejora para la reducción del tiempo de fabricación de productos culinarios deshidratados en polvo [En línea] (Trabajo de titulación). (Maestría) Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Lima, Perú. 2015. pp. 40-69. [Consulta: 2022-08-12]. Disponible en: [https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/610547/yong\\_cf.pdf?sequence=1](https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/610547/yong_cf.pdf?sequence=1)

**TERNINKO, J.** *Step-by-step QFD: Customer-Driven-Product Design* [en línea]. Florida-USA: CRC Press LLC, 1997. [Consulta: 13 septiembre 2022]. Disponible en: [https://books.google.com.ec/books?hl=en&lr=&id=HMUv-J7eYDAC&oi=fnd&pg=PR6&dq=qfd+book&ots=TpMcudnujI&sig=iB-yuAvpIsK8HaQckKvEUrZbKKA&redir\\_esc=y#v=onepage&q=qfd%20book&f=false](https://books.google.com.ec/books?hl=en&lr=&id=HMUv-J7eYDAC&oi=fnd&pg=PR6&dq=qfd+book&ots=TpMcudnujI&sig=iB-yuAvpIsK8HaQckKvEUrZbKKA&redir_esc=y#v=onepage&q=qfd%20book&f=false)

**VALERO, Constantino.; & RUIZ, Margarita A.** "Equipos de Medida de calidad Organoléptica en Frutas". *ETSIA UPM Madrid*, vol. 12, nº 12 (2000), (España) pp. 38-45.

**VÁSQUEZ, D.** Evaluación de ruido laboral para la aplicación de técnicas de disminución de niveles de presión sonora en una industria alimenticia de Guayaquil. [En línea] (Trabajo de titulación). Universidad Agraria del Ecuador, Guayaquil, Ecuador. 2021. pp. 17-23. [Consulta: 2022-11-15]. Disponible en: <https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/VASQUEZ%20GUERRA%20DOUGLAS%20VICENTE.pdf>

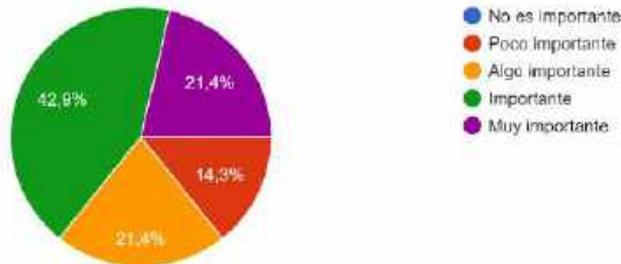
**ZAMBRANO, I.** Propuesta de Implementación de una Línea de Producción Industrial de Mix de Harinas con Valor Biológico [En línea] (Trabajo de titulación). Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil, Ecuador. 2022. pp. 57-76. [Consulta: 2022-07-07]. Disponible en: <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/52463/1/T8962%20ZAMBRANO%20FRANCO%20c%20IDER.pdf>

## ANEXOS

### ANEXO A: ENCUESTA PREELIMINAR DE MERCADO PARA DETERMINAR LOS REQUERIMIENTOS DEL CLIENTE

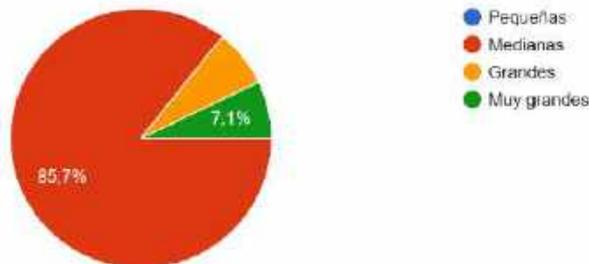
¿Considera importante que el diseño del molino pulverizador favorezca a la operabilidad?

14 respuestas



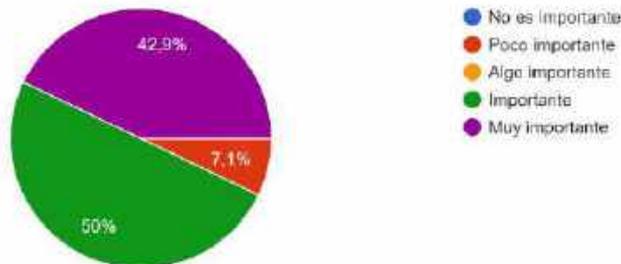
Si usted adquiriese un molino pulverizador desearía que las dimensiones del equipo sean:

14 respuestas



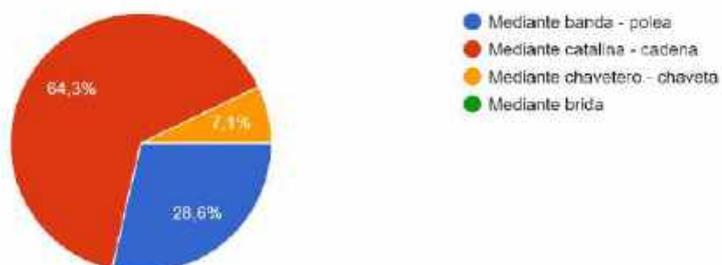
¿Considera importante que el diseño del molino pulverizador favorezca la seguridad del operario?

14 respuestas



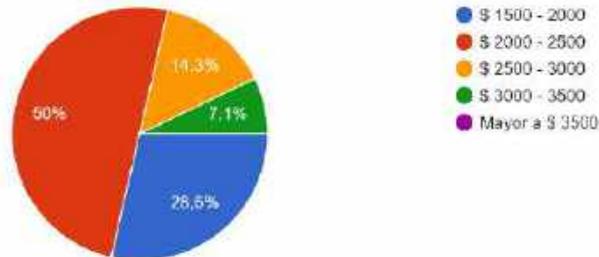
¿Cuál de los siguientes sistemas de transmisión de potencia le gustaría para el molino pulverizador?

14 respuestas



¿Qué precio estaría deseando pagar por un molino pulverizador?

14 respuestas



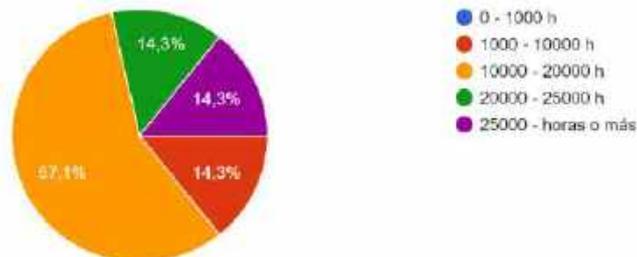
¿Cuál de las siguientes opciones de pulverización le gustaría para el equipo?

13 respuestas



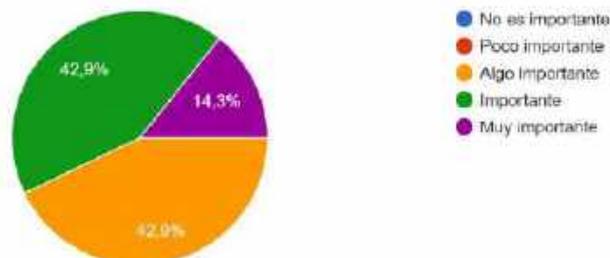
Según su criterio: ¿Qué tiempo de vida útil es adecuado para un molino pulverizador?

14 respuestas



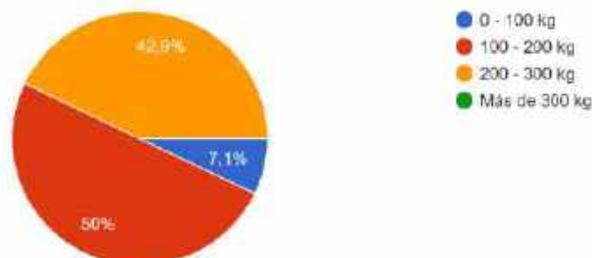
¿Considera importante que el diseño del molino pulverizador favorezca el mantenimiento y reemplazo de componentes?

14 respuestas



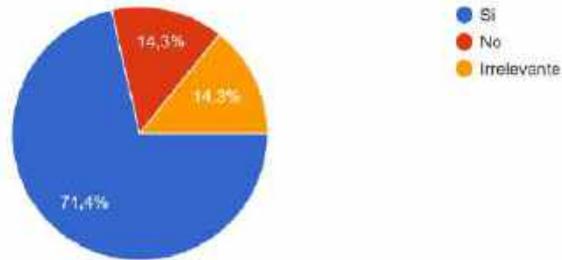
Si usted adquiriese un molino pulverizador: ¿Cuál deseando que sea el peso del molino?

14 respuestas



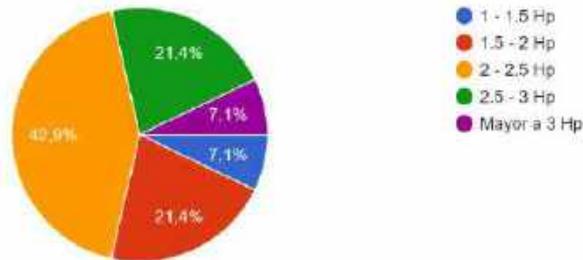
¿Considera importante que el sistema de transmisión de potencia sea diseñado según normativa ASME?

14 respuestas



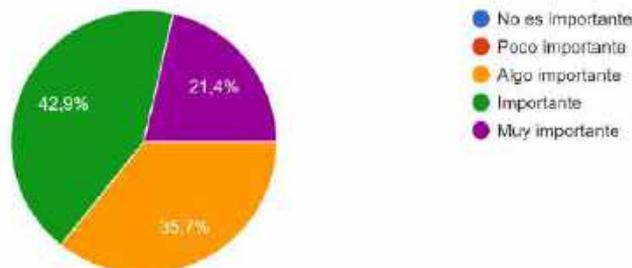
¿Qué potencia de entrada desearía en un molino pulverizador?

14 respuestas



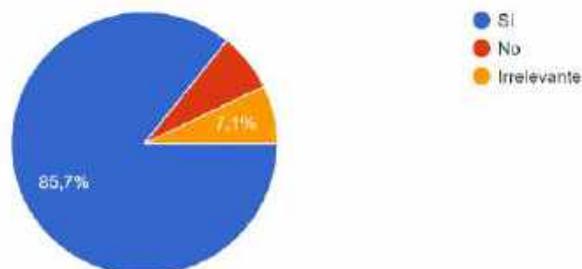
¿Qué tan importante considera usted que los componentes empleados en el equipo sean fácilmente adquiribles en el mercado nacional?

14 respuestas



¿Considera importante que el molino pulverizador genere un bajo impacto ambiental?

14 respuestas





# ANEXO C: ANÁLISIS DE COMPETENCIAS - CASA DE LA CALIDAD - INTERINOX



[INICIO](#)
[PRODUCTOS](#)
[CATÁLOGO](#)
[LA EMPRESA](#)
[INGENIEROS](#)
[CONTACTO](#)

## CATÁLOGO

Con una trayectoria de más de 20 años, nuestros equipos y proyectos cumplen con los estándares de calidad más altos y las normas más exigentes. Cientos de nuestros productos se encuentran operando en diversas plantas industriales a nivel nacional e internacional.



### MOLINO PULVERIZADOR

Molino rotativo con carcasa y transportador elevador de tornillo sin fin.

CAPACIDAD: 600 kg/hora

MATERIAL: Acero inoxidable SA-240 Tipo 304

ACABADOS: Sanitarios para plantas alimenticias

APLICACIONES: Pulverizado de azúcar



Los **pulverizadores INTERINOX** son molinos con un sistema de molenda de alta velocidad diseñados para un funcionamiento continuo a velocidades hasta 6.000 RPM. El producto puede ser alimentado por medio de una tolva de carga y descargas de alimentación, una entrada de succión, un conjunto de inyectores o puede ser alimentado por gravedad, dependiendo de sus propiedades. La trituración es el resultado de que el producto de alimentación impacta contra la turbina y el revestimiento instalado en la cubierta de la carcasa del molino, dicho producto sale a través del cuerpo hermético a través de la criba o malla.

### Los MOLINOS INTERINOX pulverizan toda clase de productos:

#### Alimenticios y naturistas

- Químicos
- Cosméticos
- Farmacéuticos
- Otros



#### Alimenticios

Azúcar, especias en general, sal, semillas, hennas, cereales, torrijas especiales, frioles secos, frutas, colores y sabores vegetales, productos deshidratados, sueros, entre muchos otros.

### Modelos y características técnicas

| Modelo        | Motor H.P. | Rendimiento Aproximado KG/HR | Cámara de molenda |                      | Medidas aproximadas (cm)                  |                     |
|---------------|------------|------------------------------|-------------------|----------------------|---|---------------------|
|               |            |                              | DIÁMETRO "A" (mm) | ANCHO "B" (pulgadas) | CABEZA Y TOLVA DE CARGA CON BASE SENCILLA | CON BASE INDUSTRIAL |
| MPV 150       | 3/5        | 20 a 50                      | 150               | 3                    | 30X30X50                                  | No aplica           |
| MPV 250       | 7.5/10/15  | 75 a 300                     | 250               | 4                    | 45X50X90                                  | 110X10X100          |
| MPV 400       | 20/25/30   | 500 a 1500                   | 400               | 5                    | 70X70X120                                 | 150X73X200          |
| MPV 400 JUMBO | 30/40/50   | 1500 a 2800                  | 400               | 8                    | 70X80X120                                 | No aplica           |
| MPV 800 JUMBO | 60/75/100  | 2500 a 4000                  | 800               | 12                   | 90X100X170                                | No aplica           |
| MPV 800 JUMBO | 75/100/150 | 4000 a 6000                  | 800               | 16                   | 110X120X200                               | No aplica           |

**Nota:** El rendimiento arriba indicado es aproximado y varía de acuerdo al producto a moler, la criba utilizada, la potencia del motor y la forma de carga y descarga del producto.

### Características Técnicas

|   |   |
|---|---|
| Aplicación                                | Reducción de Tamaño, Mictorización, Frituración y Granulado                         |
| Campo de aplicación                       | Alimentos, Farmacia, Cosméticos, Químicos, Plásticos, Naturales                     |
| Tipo de material a procesar               | Duros - Blandos, Semisólidos, Elásticos, Abrasivos                                  |
| Principio de molenda                      | Sizallamiento, Corte y Golpe  |
| Granulometría inicial                     | 5 mesh  |
| Granulometría final                       | < 350 mesh  |
| Volumen nominal de molenda                | De 5 a 100 kg   |
| Velocidad                                 | De 0 a 6.000 RPM  |
| Materiales de las herramientas de molenda | Turbina: Acero inoxidable / Acero al Carbon<br>Morteros: Masa Moli - Steel / Perros |
| Capacidad de Molenda                      | De 1 a 10.000 kg por Hora   |
| Operación por intervalos                  | Si  |
| Motor                                     | Motor de 1 a 100 HP   |
| Conexión eléctrica                        | 110 - 220 - 440 V   |
| Alimentación de rot                       | Manoal, Automática, Trifásica   |
| Tipo de protección                        | Aislador  |
| Variación de Velocidad                    | Variador de Frecuencia  |
| Automatización                            | Por medio de PLC  |
| Limpieza                                  | Facilitada  |

**ANEXO D: HOJA DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS MOTOR WEG W22**

| HOJA DE DATOS   |                         |                              |   |  |                     |
|---|-------------------------|------------------------------|---|---|---------------------|
| Motor Monofásico de Inducción - Rotor de Jaula  |                         |                              |   |   |                     |
| Cliente   |                         | Mauro Salazar - Ariel Varela |   |   |                     |
| Referencia del cliente  |                         | Carrera Mecánica - ESPOCH    |   |   |                     |
| Línea del producto  |                         | W22                          |   | Código del producto   | 13887628            |
| Carcasa   | : 112M                  | Tiempo de rotor bloqueado    | : 14s (frío) 8s (caliente)  | Elevación de temperatura  | : 105 K             |
| Potencia  | : 2.2 kW (3 HP-cv)      | Régimen de servicio          | : S1  | Temperatura ambiente  | : -20°C hasta +40°C |
| Polos   | : 4                     | Altitud                      | : 1000 m  | Grado de protección   | : IP55              |
| Frecuencia  | : 60 Hz                 | Método de refrigeración      | : IC411 - TFVE  | Forma constructiva  | : B3D               |
| Tensión nominal   | : 110-127/220-254 V     | Sentido de giro <sup>1</sup> | : Ambos   | Nivel de ruido <sup>2</sup>   | : 60.0 dB(A)        |
| Corriente nominal   | : 28.8-24.9/14.4-12.5 A | Método de Arranque           | : Partida directa   | Masa aproximada <sup>3</sup>  | : 48.1 kg           |
| Corriente de arranque   | : 202-175/101-87.3 A    |                              |   |   |                     |
| Ip/In   | : 7.0                   |                              |   |   |                     |
| Corriente en vacío  | : 8.00-6.93/4.00-3.46 A |                              |   |   |                     |
| Rotación nominal  | : 1740 rpm              |                              |   |   |                     |
| Resbalamiento   | : 3.33 %                |                              |   |   |                     |
| Torque nominal  | : 12.1 Nm               |                              |   |   |                     |
| Torque de arranque  | : 229 %                 |                              |   |   |                     |
| Torque máximo   | : 240 %                 |                              |   |   |                     |
| Clase de aislamiento  | : F                     |                              |   |   |                     |
| Factor de servicio  | : 1.15                  |                              |   |   |                     |
| Potencia  | 50%                     | 75%                          | 100%  | Fuerzas en la fundación   |                     |
| Rendimiento (%)   | 65.0                    | 74.0                         | 77.0  | Tracción máxima : 374 N   |                     |
| Cos Φ   | 0.79                    | 0.87                         | 0.90  | Compresión máxima : 846 N   |                     |
|   |                         | <u>Delantero</u>             | <u>Trasero</u>  |   |                     |
| Tipo de cojinete  | :                       | 6207 ZZ                      | 6206 ZZ   |   |                     |
| Sello   | :                       | V'Ring                       | V'Ring  |   |                     |
| Intervalo de lubricación  | :                       | -                            | -   |   |                     |
| Cantidad de lubricante  | :                       | -                            | -   |   |                     |
| Tipo de lubricante  | :                       | Mobil Polyrex EM             |   |   |                     |
| Esta revisión substitui y cancela la anterior, la cual deberá ser eliminada.<br>(1) Mirando la punta delantera del eje del motor.<br>(2) Medido a 1m y con tolerancia de +3dB(A).<br>(3) Masa aproximada sujetos a cambios después del proceso de fabricación.<br>(4) Al 100% de la carga completa. |                         |                              | Los valores indicados son valores promedio con base en ensayos y para alimentación en red senoidal, sujetos a las tolerancias de la norma ABNT NBR 17094. |   |                     |
| Rev.  | Resumen de los cambios  |                              | Ejecutado   | Verificado  | Fecha               |
| Ejecutor  |                         |                              |   |   |                     |
| Verificador   |                         |                              |   | Página  | Revisión            |
| Fecha   | 16/03/2023              |                              |   | 1 / 2   |                     |

# CURVA DE DESEMPEÑO EN CARGA

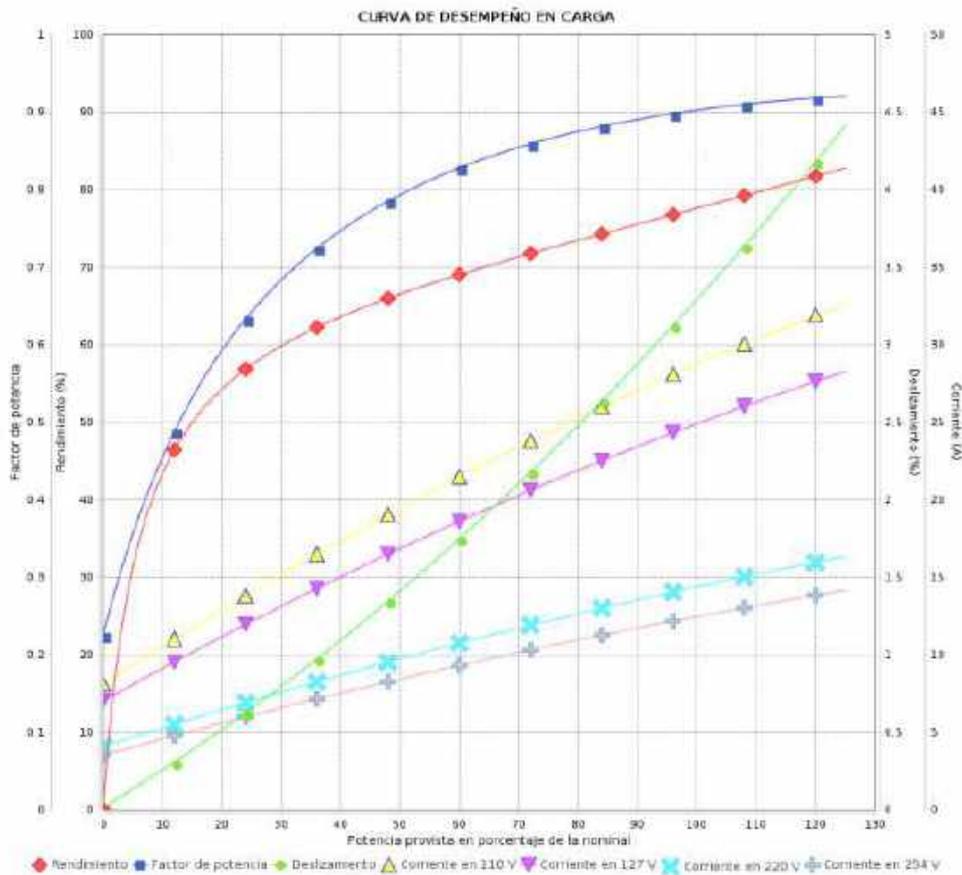


Motor Monofásico de Inducción - Rotor de Jaula

Cliente : Mauro Salazar - Ariel Varela  
 Referencia del cliente : Carrera Mecánica - ESPOCH

Línea del producto : W22

Código del producto : 13887628



Desempeño : 110-127/220-254 V 60 Hz  
 4P

Corriente nominal : 28.8-24.9/14.4-12.5 A  
 I<sub>p</sub>/I<sub>n</sub> : 7.0  
 Torque nominal : 12.1 Nm  
 Torque de arranque : 229 %  
 Torque máximo : 240 %  
 Rotación nominal : 1740 rpm

Momento de inercia (J)  
 Régimen de servicio : S1  
 Clase de aislamiento : F  
 Factor de servicio : 1.15  
 Elevación de temperatura : 105 K

| Rev.        | Resumen de los cambios | Ejecutado | Verificado | Fecha    |
|-------------|------------------------|-----------|------------|----------|
| Ejecutor    |                        |           |            |          |
| Verificador |                        |           | Página     | Revisión |
| Fecha       | 16/03/2023             |           | 2 / 2      |          |

Propiedad de WEG S/A. Prohibida la reproducción sin permiso.  
 Sujeto a cambios sin previo aviso

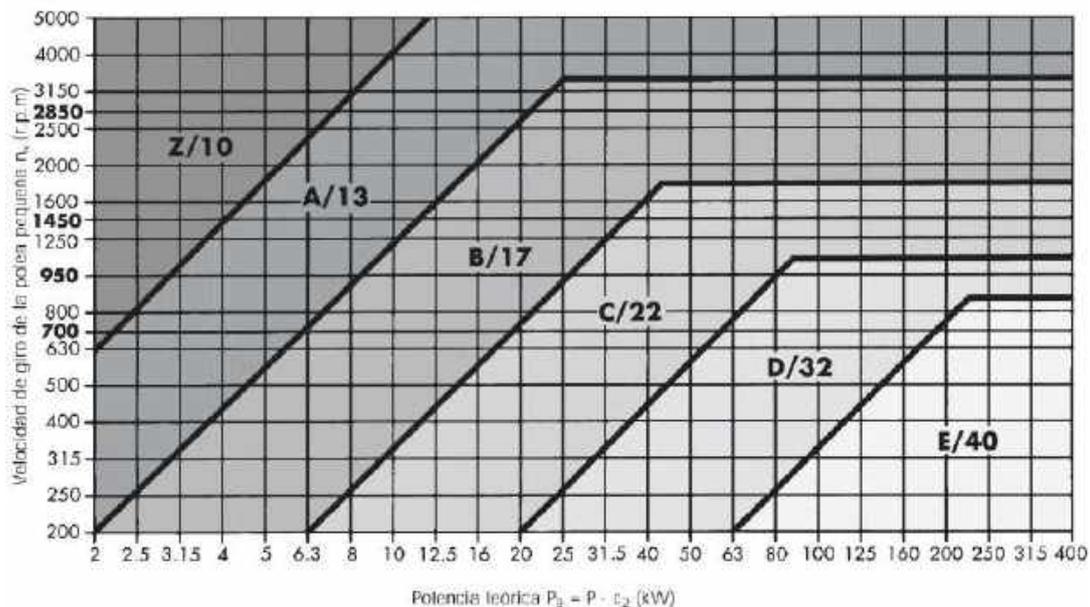
## ANEXO E: CATÁLOGO DE POLEAS Y BANDAS

### Factor de Carga C2

| Ejemplo de máquinas accionadas  | Ejemplo de máquinas motrices  |                    |                |  |                    |                |
|---|---|--------------------|----------------|--|--------------------|----------------|
|   | Los motores CA y trifásicos con un momento de arranque normal (de hasta 1,8 veces el momento nominal), por ejemplo, motores síncronos y monofásicos con fase auxiliar de arranque, motores trifásicos con arranque directo, arranque estrella/triángulo, con anillo colector, de corriente continua, de combustión interna y turbinas de $n > 600$ r.p.m. |                    |                | Los motores CA y trifásicos con un momento de arranque alto (más de 1,8 veces el momento nominal), por ejemplo, motores monofásicos con alto momento de arranque, motores con conexión principal CC conectados en serie y combinación, motores de combustión interna y turbinas de $n \leq 600$ r.p.m. |                    |                |
|   | Factor de carga $c_2$ para servicio diario (horas)  |                    |                | Factor de carga $c_2$ para servicio diario (horas)   |                    |                |
|   | hasta 10  | más de 10 hasta 16 | a partir de 16 | up to 10   | más de 10 hasta 16 | a partir de 16 |
| <b>Transmisiones ligeras</b><br>Bombas centrífugas y compresores, bays transportadoras (cargas ligeras) ventiladores y bombas de hasta 7,5 kW   | 1,1   | 1,1                | 1,2            | 1,1  | 1,2                | 1,3            |
| <b>Transmisiones medias</b><br>Guillotinas, prensas, transportadores de cadena y baya (cargas pesadas), tamices vibradores, generadores y excitadores, amasadoras, máquinas herramienta (ornos, esmeriladoras), lavadoras, impresoras, ventiladores y bombas de más de 7,5 kW   | 1,1   | 1,2                | 1,3            | 1,2  | 1,3                | 1,4            |
| <b>Transmisiones pesadas</b><br>Molinos, compresores de pistón, transportadores de carga pesada, expulsores (transportadores helicoidales, cintas de placas, cangilones y pala), ascensores, prensas de ladrillos, maquinaria textil, maquinaria del papel, bombas de pistón, bombas draga, aserraderos, molinos de machacado | 1,2   | 1,3                | 1,4            | 1,4  | 1,5                | 1,6            |
| <b>Transmisiones muy pesadas</b><br>Molinos de carga pesada, trituradoras de piedra, calyas, mezcladoras, tornos, gruas, dragas, maquinaria pesada para madera  | 1,3   | 1,4                | 1,5            | 1,5  | 1,6                | 1,8            |

### Perfil de la banda

Diagrama 3: Correas trapeciales clásicas Optibelt VB según DIN 2215



Factor de ángulo de contacto C1

| $\frac{d_{dr} - d_{dk}}{a_{nom}}$ | $\beta -$ | $c_1$ |      |      |      |
|-----------------------------------|-----------|-------|------|------|------|
| 0                                 | 180°      | 1,00  | 0,75 | 136° | 0,97 |
| 0,05                              | 177°      | 1,00  | 0,80 | 133° | 0,96 |
| 0,10                              | 174°      | 1,00  | 0,85 | 130° | 0,96 |
| 0,15                              | 171°      | 1,00  | 0,90 | 126° | 0,96 |
| 0,20                              | 168°      | 0,99  | 0,95 | 123° | 0,95 |
| 0,25                              | 165°      | 0,99  | 1,00 |      |      |
| 0,30                              | 162°      | 0,99  | 1,05 |      |      |
| 0,35                              | 160°      | 0,99  | 1,10 |      |      |
| 0,40                              | 156°      | 0,99  | 1,15 |      |      |
| 0,45                              | 153°      | 0,98  | 1,20 |      |      |
| 0,50                              | 150°      | 0,98  | 1,25 |      |      |
| 0,55                              | 147°      | 0,98  | 1,30 |      |      |
| 0,60                              | 144°      | 0,98  | 1,35 |      |      |
| 0,65                              | 141°      | 0,97  | 1,40 |      |      |
| 0,70                              | 139°      | 0,97  | 1,45 |      |      |
|                                   |           |       | 1,50 | 84°  | 0,86 |
|                                   |           |       | 1,55 | 80°  | 0,84 |
|                                   |           |       | 1,60 | 77°  | 0,83 |

Factor de desarrollo C3

| Perfil 5*                     |       | Perfil Y/6*                   |       | Perfil 8                      |       | Perfil Z/10, ZX/X10           |       | Perfil A/13, AX/X13           |       | Perfil B/17, BX/X17           |       | Perfil 20                     |       |
|-------------------------------|-------|-------------------------------|-------|-------------------------------|-------|-------------------------------|-------|-------------------------------|-------|-------------------------------|-------|-------------------------------|-------|
| Desarrollo de referencia (mm) | $c_2$ |
| 172                           | 0,87  | 280                           | 0,97  | 299*                          | 0,86  | 422*                          | 0,86  | 660                           | 0,80  | 900                           | 0,81  | 948                           | 0,75  |
| 202                           | 0,91  | 295                           | 0,99  | 334*                          | 0,88  | 447*                          | 0,87  | 740                           | 0,82  | 990                           | 0,83  | 998                           | 0,76  |
| 248                           | 0,95  | 315                           | 1,00  | 374*                          | 0,91  | 472*                          | 0,88  | 780                           | 0,83  | 1040                          | 0,84  | 1048                          | 0,77  |
| 277                           | 0,97  | 330                           | 1,01  | 419*                          | 0,93  | 497*                          | 0,89  | 830                           | 0,85  | 1100                          | 0,85  | 1168                          | 0,79  |
| 292                           | 0,99  | 350                           | 1,02  | 444*                          | 0,94  | 522*                          | 0,90  | 880                           | 0,86  | 1140                          | 0,85  | 1228                          | 0,80  |
| 312                           | 1,00  | 370                           | 1,04  | 469*                          | 0,95  | 552*                          | 0,92  | 930                           | 0,87  | 1220                          | 0,87  | 1298                          | 0,81  |
| 327                           | 1,01  | 390                           | 1,05  | 494*                          | 0,97  | 582*                          | 0,93  | 980                           | 0,88  | 1290                          | 0,88  | 1368                          | 0,82  |
| 334                           | 1,01  | 415                           | 1,06  | 549*                          | 0,99  | 622                           | 0,94  | 1030                          | 0,89  | 1360                          | 0,89  | 1448                          | 0,83  |
| 347                           | 1,02  | 440                           | 1,07  | 579*                          | 1,00  | 652                           | 0,95  | 1090                          | 0,90  | 1440                          | 0,90  | 1548                          | 0,85  |
| 364                           | 1,03  | 465                           | 1,09  | 594*                          | 1,01  | 692                           | 0,96  | 1150                          | 0,91  | 1540                          | 0,92  | 1648                          | 0,86  |
| 387                           | 1,05  | 490                           | 1,10  | 619*                          | 1,01  | 732                           | 0,98  | 1210                          | 0,92  | 1640                          | 0,93  | 1848                          | 0,88  |
| 418                           | 1,06  | 515                           | 1,11  | 649*                          | 1,02  | 822                           | 1,00  | 1280                          | 0,94  | 1740                          | 0,94  | 2048                          | 0,91  |
| 437                           | 1,07  | 555                           | 1,13  | 689*                          | 1,04  | 847                           | 1,01  | 1350                          | 0,95  | 1840                          | 0,95  | 2168                          | 0,92  |
| 487                           | 1,10  | 615                           | 1,15  | 729*                          | 1,05  | 887                           | 1,02  | 1430                          | 0,96  | 1940                          | 0,97  | 2298                          | 0,93  |
| 512                           | 1,11  | 725                           | 1,19  | 769*                          | 1,06  | 922                           | 1,02  | 1530                          | 0,97  | 2040                          | 0,98  | 2408                          | 0,94  |
| 524                           | 1,11  | 765                           | 1,20  | 819*                          | 1,08  | 947                           | 1,03  | 1630                          | 0,99  | 2160                          | 0,99  | 2548                          | 0,95  |
| 542                           | 1,12  | 865                           | 1,23  | 869                           | 1,09  | 997                           | 1,04  | 1730                          | 1,00  | 2280                          | 1,00  | 2698                          | 0,96  |
| 566                           | 1,13  |                               |       | 894                           | 1,10  | 1022                          | 1,05  | 1830                          | 1,01  | 2400                          | 1,01  | 2848                          | 0,98  |
| 612                           | 1,15  |                               |       | 919                           | 1,10  | 1082                          | 1,06  | 1930                          | 1,02  | 2590                          | 1,03  | 3048                          | 0,99  |
|                               |       |                               |       | 969                           | 1,11  | 1142                          | 1,07  | 2030                          | 1,03  | 2690                          | 1,04  | 3198                          | 1,00  |
|                               |       |                               |       | 1019                          | 1,13  | 1172                          | 1,08  | 2150                          | 1,05  | 2840                          | 1,05  | 3398                          | 1,01  |
|                               |       |                               |       | 1139                          | 1,15  | 1202                          | 1,08  | 2270                          | 1,06  | 3040                          | 1,06  | 3598                          | 1,03  |
|                               |       |                               |       | 1269                          | 1,18  | 1272                          | 1,10  | 2390                          | 1,07  | 3190                          | 1,07  | 3798                          | 1,04  |
|                               |       |                               |       | 1339                          | 1,19  | 1342                          | 1,11  | 2530                          | 1,08  | 3390                          | 1,09  | 4048                          | 1,05  |
|                               |       |                               |       | 1419                          | 1,20  | 1422                          | 1,12  | 2680                          | 1,10  | 3590                          | 1,10  | 4298                          | 1,06  |
|                               |       |                               |       | 1519                          | 1,22  | 1522                          | 1,14  | 2830                          | 1,11  | 3790                          | 1,11  | 4548                          | 1,08  |
|                               |       |                               |       |                               |       | 1622                          | 1,15  | 3030                          | 1,12  | 4040                          | 1,13  | 4798                          | 1,09  |
|                               |       |                               |       |                               |       |                               |       | 3180                          | 1,14  | 4290                          | 1,14  | 5048                          | 1,10  |
|                               |       |                               |       |                               |       |                               |       | 3380                          | 1,15  | 4540                          | 1,15  | 5348                          | 1,11  |
|                               |       |                               |       |                               |       |                               |       | 3780                          | 1,17  | 4790                          | 1,17  | 5648                          | 1,13  |
|                               |       |                               |       |                               |       |                               |       | 4030                          | 1,19  | 5040                          | 1,18  | 6048                          | 1,14  |
|                               |       |                               |       |                               |       |                               |       | 4530                          | 1,22  | 5340                          | 1,19  | 6348                          | 1,15  |
|                               |       |                               |       |                               |       |                               |       | 5030                          | 1,24  | 5640                          | 1,20  | 7148                          | 1,18  |
|                               |       |                               |       |                               |       |                               |       |                               |       | 6040                          | 1,22  | 8048                          | 1,21  |
|                               |       |                               |       |                               |       |                               |       |                               |       | 6340                          | 1,23  |                               |       |
| Perfil C/22, CX/X22           |       |                               |       | Perfil 25                     |       |                               |       | Perfil D/32                   |       |                               |       | Perfil E/40                   |       |
| 1458                          | 0,80  | 5058                          | 1,06  | 1311                          | 0,75  | 4311                          | 0,99  | 3225                          | 0,86  | 10075                         | 1,10  | 4830                          | 0,92  |
| 1558                          | 0,81  | 5358                          | 1,07  | 1461                          | 0,77  | 4561                          | 1,00  | 3425                          | 0,87  | 10675                         | 1,11  | 5080                          | 0,93  |
| 1658                          | 0,83  | 5658                          | 1,09  | 1561                          | 0,78  | 4811                          | 1,01  | 3625                          | 0,88  | 11275                         | 1,13  | 5380                          | 0,94  |
| 1858                          | 0,85  | 6058                          | 1,10  | 1661                          | 0,79  | 5061                          | 1,02  | 3825                          | 0,89  | 11875                         | 1,14  | 5680                          | 0,95  |
| 1958                          | 0,86  | 6358                          | 1,11  | 1761                          | 0,80  | 5361                          | 1,04  | 4075                          | 0,91  | 12575                         | 1,15  | 6080                          | 0,96  |
| 2058                          | 0,87  | 6758                          | 1,13  | 1861                          | 0,81  | 5661                          | 1,05  | 4325                          | 0,92  | 13275                         | 1,16  | 6380                          | 0,97  |
| 2178                          | 0,88  | 7158                          | 1,14  | 1961                          | 0,82  | 6061                          | 1,06  | 4575                          | 0,93  | 14075                         | 1,18  | 6780                          | 0,99  |
| 2298                          | 0,89  | 7558                          | 1,15  | 2061                          | 0,83  | 6361                          | 1,07  | 4825                          | 0,94  | 15075                         | 1,19  | 7180                          | 1,00  |
| 2418                          | 0,90  | 8058                          | 1,17  | 2181                          | 0,85  | 6761                          | 1,09  | 5075                          | 0,95  | 16075                         | 1,21  | 7580                          | 1,01  |
| 2558                          | 0,92  | 9058                          | 1,19  | 2301                          | 0,86  | 7161                          | 1,10  | 5375                          | 0,96  |                               |       | 8080                          | 1,03  |
| 2708                          | 0,93  | 10058                         | 1,22  | 2421                          | 0,87  | 7561                          | 1,11  | 5675                          | 0,98  |                               |       | 8580                          | 1,04  |
| 2858                          | 0,94  |                               |       | 2561                          | 0,88  | 8061                          | 1,13  | 6075                          | 0,99  |                               |       | 9080                          | 1,05  |
| 3058                          | 0,95  |                               |       | 2711                          | 0,89  | 9061                          | 1,15  | 6375                          | 1,00  |                               |       | 9580                          | 1,06  |
| 3208                          | 0,96  |                               |       | 2861                          | 0,90  | 10061                         | 1,18  | 6775                          | 1,01  |                               |       | 10080                         | 1,07  |
| 3608                          | 0,99  |                               |       | 3061                          | 0,92  | 11261                         | 1,20  | 7175                          | 1,03  |                               |       | 10680                         | 1,09  |
| 3808                          | 1,00  |                               |       | 3211                          | 0,93  | 12561                         | 1,23  | 7575                          | 1,04  |                               |       | 11280                         | 1,10  |
| 4058                          | 1,01  |                               |       | 3411                          | 0,94  |                               |       | 8075                          | 1,05  |                               |       | 11880                         | 1,11  |
| 4308                          | 1,03  |                               |       | 3611                          | 0,95  |                               |       | 8575                          | 1,06  |                               |       | 12580                         | 1,12  |
| 4558                          | 1,04  |                               |       | 3811                          | 0,96  |                               |       | 9075                          | 1,08  |                               |       | 13280                         | 1,14  |
| 4808                          | 1,05  |                               |       | 4061                          | 0,98  |                               |       | 9575                          | 1,09  |                               |       | 14080                         | 1,15  |
|                               |       |                               |       |                               |       |                               |       |                               |       |                               |       | 15080                         | 1,17  |
|                               |       |                               |       |                               |       |                               |       |                               |       |                               |       | 16080                         | 1,18  |

Potencia nominal Pn (kw) para perfil Z/10

| Poleas<br>v (m/s) | n <sub>z</sub><br>(min <sup>-1</sup> ) | Diámetro de referencia de la polea pequeña d <sub>ref</sub> (mm) |      |      |      |      |      |      |      |      | Suplemento de potencia (kW) por correas para i |                 |                 |      |
|-------------------|--|--|------|------|------|------|------|------|------|------|--|-----------------|-----------------|------|
|                   |  | 45   | 50   | 56   | 63   | 71   | 80   | 90   | 100  | 112  | 1,01 hasta 1,05                                | 1,06 hasta 1,26 | 1,27 hasta 1,57 |      |
| ②                 | 700                                    | 0,18   | 0,22 | 0,28 | 0,34 | 0,42 | 0,50 | 0,59 | 0,67 | 0,77 | 0,00   | 0,02            | 0,03            | 0,03 |
|                   | 950                                    | 0,22   | 0,28 | 0,35 | 0,44 | 0,53 | 0,64 | 0,75 | 0,86 | 1,00 | 0,00   | 0,02            | 0,04            | 0,05 |
|                   | 1450                                   | 0,29   | 0,38 | 0,48 | 0,60 | 0,74 | 0,89 | 1,06 | 1,22 | 1,40 | 0,01   | 0,03            | 0,06            | 0,06 |
|                   | 2850                                   | 0,42   | 0,58 | 0,77 | 0,98 | 1,22 | 1,47 | 1,75 | 2,02 | 2,33 | 0,01   | 0,07            | 0,11            | 0,12 |
|                   | 300                                    | 0,04   | 0,05 | 0,06 | 0,07 | 0,08 | 0,10 | 0,11 | 0,13 | 0,15 | 0,00   | 0,00            | 0,00            | 0,00 |
|                   | 200                                    | 0,07   | 0,08 | 0,10 | 0,12 | 0,15 | 0,17 | 0,20 | 0,23 | 0,27 | 0,00   | 0,00            | 0,01            | 0,01 |
|                   | 300                                    | 0,09   | 0,12 | 0,14 | 0,17 | 0,21 | 0,25 | 0,29 | 0,33 | 0,38 | 0,00   | 0,01            | 0,01            | 0,01 |
|                   | 400                                    | 0,12   | 0,15 | 0,18 | 0,22 | 0,26 | 0,31 | 0,37 | 0,42 | 0,48 | 0,00   | 0,01            | 0,02            | 0,02 |
|                   | 500                                    | 0,14   | 0,17 | 0,21 | 0,26 | 0,32 | 0,38 | 0,44 | 0,51 | 0,58 | 0,00   | 0,01            | 0,02            | 0,02 |
|                   | 600                                    | 0,16   | 0,20 | 0,25 | 0,30 | 0,37 | 0,44 | 0,51 | 0,59 | 0,68 | 0,00   | 0,01            | 0,02            | 0,03 |
| 700               | 0,18                                   | 0,22   | 0,28 | 0,34 | 0,42 | 0,50 | 0,59 | 0,67 | 0,77 | 0,00 | 0,02   | 0,03            | 0,03            |      |
| 800               | 0,19                                   | 0,25   | 0,31 | 0,38 | 0,46 | 0,55 | 0,65 | 0,75 | 0,87 | 0,00 | 0,02   | 0,03            | 0,03            |      |
| 900               | 0,21                                   | 0,27   | 0,34 | 0,42 | 0,51 | 0,61 | 0,72 | 0,83 | 0,95 | 0,00 | 0,02   | 0,03            | 0,04            |      |
| 1000              | 0,23                                   | 0,29   | 0,37 | 0,45 | 0,55 | 0,66 | 0,78 | 0,90 | 1,04 | 0,00 | 0,02   | 0,04            | 0,04            |      |
| 1100              | 0,24                                   | 0,31   | 0,39 | 0,49 | 0,60 | 0,72 | 0,85 | 0,97 | 1,12 | 0,01 | 0,03   | 0,04            | 0,05            |      |
| 1200              | 0,25                                   | 0,33   | 0,42 | 0,52 | 0,64 | 0,77 | 0,91 | 1,05 | 1,21 | 0,01 | 0,03   | 0,05            | 0,05            |      |
| 1300              | 0,27                                   | 0,35   | 0,45 | 0,56 | 0,68 | 0,82 | 0,97 | 1,11 | 1,29 | 0,01 | 0,03   | 0,05            | 0,06            |      |
| 1400              | 0,28                                   | 0,37   | 0,47 | 0,59 | 0,72 | 0,87 | 1,03 | 1,18 | 1,37 | 0,01 | 0,03   | 0,05            | 0,06            |      |
| 1500              | 0,29                                   | 0,39   | 0,49 | 0,62 | 0,76 | 0,91 | 1,08 | 1,25 | 1,44 | 0,01 | 0,04   | 0,06            | 0,06            |      |
| 1600              | 0,31                                   | 0,40   | 0,52 | 0,65 | 0,80 | 0,96 | 1,14 | 1,31 | 1,52 | 0,01 | 0,04   | 0,06            | 0,07            |      |
| 1700              | 0,32                                   | 0,42   | 0,54 | 0,68 | 0,84 | 1,01 | 1,19 | 1,38 | 1,59 | 0,01 | 0,04   | 0,07            | 0,07            |      |
| 1800              | 0,33                                   | 0,44   | 0,56 | 0,71 | 0,87 | 1,05 | 1,25 | 1,44 | 1,66 | 0,01 | 0,04   | 0,07            | 0,08            |      |
| 1900              | 0,34                                   | 0,45   | 0,59 | 0,74 | 0,91 | 1,10 | 1,30 | 1,50 | 1,73 | 0,01 | 0,05   | 0,07            | 0,08            |      |
| 2000              | 0,35                                   | 0,47   | 0,61 | 0,77 | 0,94 | 1,14 | 1,35 | 1,56 | 1,80 | 0,01 | 0,05   | 0,08            | 0,09            |      |
| 2100              | 0,36                                   | 0,48   | 0,63 | 0,79 | 0,98 | 1,19 | 1,40 | 1,62 | 1,87 | 0,01 | 0,05   | 0,08            | 0,09            |      |
| 2200              | 0,37                                   | 0,50   | 0,65 | 0,82 | 1,01 | 1,22 | 1,45 | 1,68 | 1,94 | 0,01 | 0,05   | 0,08            | 0,10            |      |
| 2300              | 0,38                                   | 0,51   | 0,67 | 0,84 | 1,05 | 1,26 | 1,50 | 1,73 | 2,00 | 0,01 | 0,06   | 0,09            | 0,10            |      |
| 2400              | 0,39                                   | 0,52   | 0,69 | 0,87 | 1,08 | 1,30 | 1,55 | 1,79 | 2,06 | 0,01 | 0,06   | 0,09            | 0,10            |      |
| 2500              | 0,39                                   | 0,54   | 0,70 | 0,90 | 1,11 | 1,34 | 1,60 | 1,84 | 2,12 | 0,01 | 0,06   | 0,10            | 0,11            |      |
| 2600              | 0,40                                   | 0,55   | 0,72 | 0,92 | 1,14 | 1,38 | 1,64 | 1,89 | 2,18 | 0,01 | 0,06   | 0,10            | 0,11            |      |
| 2700              | 0,41                                   | 0,56   | 0,74 | 0,94 | 1,17 | 1,42 | 1,69 | 1,94 | 2,24 | 0,01 | 0,06   | 0,10            | 0,12            |      |
| 2800              | 0,42                                   | 0,57   | 0,76 | 0,97 | 1,20 | 1,46 | 1,73 | 1,99 | 2,30 | 0,01 | 0,07   | 0,11            | 0,12            |      |
| 2900              | 0,42                                   | 0,58   | 0,77 | 0,99 | 1,23 | 1,49 | 1,77 | 2,04 | 2,35 | 0,01 | 0,07   | 0,11            | 0,13            |      |
| 3000              | 0,43                                   | 0,60   | 0,79 | 1,01 | 1,26 | 1,53 | 1,81 | 2,09 | 2,41 | 0,01 | 0,07   | 0,12            | 0,13            |      |
| 3100              | 0,44                                   | 0,61   | 0,81 | 1,03 | 1,29 | 1,56 | 1,85 | 2,14 | 2,46 | 0,01 | 0,07   | 0,12            | 0,13            |      |
| 3200              | 0,44                                   | 0,62   | 0,82 | 1,06 | 1,31 | 1,59 | 1,89 | 2,18 | 2,51 | 0,02 | 0,08   | 0,12            | 0,14            |      |
| 3300              | 0,45                                   | 0,63   | 0,84 | 1,08 | 1,34 | 1,63 | 1,93 | 2,22 | 2,56 | 0,02 | 0,08   | 0,13            | 0,14            |      |
| 3400              | 0,46                                   | 0,64   | 0,85 | 1,10 | 1,37 | 1,66 | 1,97 | 2,27 | 2,60 | 0,02 | 0,08   | 0,13            | 0,15            |      |
| 3500              | 0,46                                   | 0,65   | 0,87 | 1,12 | 1,39 | 1,69 | 2,01 | 2,31 | 2,65 | 0,02 | 0,08   | 0,13            | 0,15            |      |
| 3600              | 0,47                                   | 0,66   | 0,88 | 1,14 | 1,42 | 1,72 | 2,04 | 2,35 | 2,69 | 0,02 | 0,09   | 0,14            | 0,16            |      |
| 3700              | 0,47                                   | 0,67   | 0,90 | 1,16 | 1,44 | 1,75 | 2,08 | 2,39 | 2,74 | 0,02 | 0,09   | 0,14            | 0,16            |      |
| 3800              | 0,48                                   | 0,68   | 0,91 | 1,17 | 1,46 | 1,78 | 2,11 | 2,42 | 2,78 | 0,02 | 0,09   | 0,15            | 0,16            |      |
| 3900              | 0,48                                   | 0,68   | 0,92 | 1,19 | 1,49 | 1,81 | 2,14 | 2,46 | 2,81 | 0,02 | 0,09   | 0,15            | 0,17            |      |
| 4000              | 0,48                                   | 0,69   | 0,93 | 1,21 | 1,51 | 1,83 | 2,17 | 2,49 | 2,85 | 0,02 | 0,10   | 0,15            | 0,17            |      |
| 4100              | 0,49                                   | 0,70   | 0,95 | 1,22 | 1,53 | 1,86 | 2,20 | 2,53 | 2,89 | 0,02 | 0,10   | 0,16            | 0,18            |      |
| 4200              | 0,49                                   | 0,71   | 0,96 | 1,24 | 1,55 | 1,89 | 2,23 | 2,56 | 2,92 | 0,02 | 0,10   | 0,16            | 0,18            |      |
| 4300              | 0,49                                   | 0,71   | 0,97 | 1,26 | 1,57 | 1,91 | 2,26 | 2,59 | 2,95 | 0,02 | 0,10   | 0,17            | 0,19            |      |
| 4400              | 0,50                                   | 0,72   | 0,98 | 1,27 | 1,59 | 1,93 | 2,29 | 2,62 | 2,98 | 0,02 | 0,11   | 0,17            | 0,19            |      |
| 4500              | 0,50                                   | 0,73   | 0,99 | 1,29 | 1,61 | 1,96 | 2,32 | 2,65 | 3,01 | 0,02 | 0,11   | 0,17            | 0,19            |      |
| 4600              | 0,50                                   | 0,73   | 1,00 | 1,30 | 1,63 | 1,98 | 2,34 | 2,67 | 3,04 | 0,02 | 0,11   | 0,18            | 0,20            |      |
| 4700              | 0,50                                   | 0,74   | 1,01 | 1,32 | 1,65 | 2,00 | 2,37 | 2,70 | 3,06 | 0,02 | 0,11   | 0,18            | 0,20            |      |
| 4800              | 0,51                                   | 0,74   | 1,02 | 1,33 | 1,67 | 2,02 | 2,39 | 2,72 | 3,08 | 0,02 | 0,12   | 0,18            | 0,21            |      |
| 4900              | 0,51                                   | 0,75   | 1,03 | 1,34 | 1,68 | 2,04 | 2,41 | 2,75 | 3,10 | 0,02 | 0,12   | 0,19            | 0,21            |      |
| 5000              | 0,51                                   | 0,75   | 1,04 | 1,35 | 1,70 | 2,06 | 2,43 | 2,77 | 3,12 | 0,02 | 0,12   | 0,19            | 0,22            |      |
| 5100              | 0,51                                   | 0,76   | 1,05 | 1,37 | 1,71 | 2,08 | 2,45 | 2,79 | 3,14 | 0,02 | 0,12   | 0,20            | 0,22            |      |
| 5200              | 0,51                                   | 0,76   | 1,06 | 1,38 | 1,73 | 2,10 | 2,47 | 2,80 | 3,15 | 0,03 | 0,13   | 0,20            | 0,23            |      |
| 5300              | 0,51                                   | 0,77   | 1,06 | 1,39 | 1,74 | 2,11 | 2,49 | 2,82 | 3,16 | 0,03 | 0,13   | 0,20            | 0,23            |      |
| 5400              | 0,51                                   | 0,77   | 1,07 | 1,40 | 1,76 | 2,13 | 2,50 | 2,83 | 3,17 | 0,03 | 0,13   | 0,21            | 0,23            |      |
| 5500              | 0,51                                   | 0,77   | 1,08 | 1,41 | 1,77 | 2,14 | 2,52 | 2,85 | 3,18 | 0,03 | 0,13   | 0,21            | 0,24            |      |
| 5600              | 0,51                                   | 0,78   | 1,08 | 1,42 | 1,78 | 2,16 | 2,53 | 2,86 | 3,19 | 0,03 | 0,13   | 0,22            | 0,24            |      |
| 5800              | 0,51                                   | 0,78   | 1,09 | 1,44 | 1,80 | 2,18 | 2,56 | 2,88 | 3,19 | 0,03 | 0,14   | 0,22            | 0,25            |      |
| 6000              | 0,51                                   | 0,79   | 1,10 | 1,45 | 1,82 | 2,20 | 2,57 | 2,89 | 3,19 | 0,03 | 0,14   | 0,23            | 0,26            |      |
| 6200              | 0,51                                   | 0,79   | 1,11 | 1,47 | 1,84 | 2,22 | 2,59 | 2,90 | 3,18 | 0,03 | 0,15   | 0,24            | 0,27            |      |
| 6400              | 0,50                                   | 0,79   | 1,12 | 1,48 | 1,85 | 2,23 | 2,60 | 2,89 | 3,15 | 0,03 | 0,15   | 0,25            | 0,28            |      |
| 6600              | 0,50                                   | 0,79   | 1,12 | 1,49 | 1,86 | 2,24 | 2,60 | 2,88 | 3,12 | 0,03 | 0,15   | 0,25            | 0,29            |      |
| 6800              | 0,49                                   | 0,79   | 1,13 | 1,49 | 1,87 | 2,25 | 2,60 | 2,87 | 3,08 | 0,03 | 0,16   | 0,26            | 0,29            |      |
| 7000              | 0,49                                   | 0,79   | 1,13 | 1,50 | 1,88 | 2,25 | 2,59 | 2,85 | 3,03 | 0,03 | 0,17   | 0,27            | 0,30            |      |
| 7200              | 0,48                                   | 0,78   | 1,13 | 1,50 | 1,88 | 2,25 | 2,58 | 2,82 | 2,97 | 0,03 | 0,17   | 0,28            | 0,31            |      |
| 7400              | 0,47                                   | 0,78   | 1,13 | 1,50 | 1,88 | 2,24 | 2,56 | 2,78 | 2,90 | 0,04 | 0,18   | 0,28            | 0,32            |      |
| 7600              | 0,46                                   | 0,77   | 1,12 | 1,50 | 1,88 | 2,23 | 2,53 |      |      | 0,04 | 0,18   | 0,29            | 0,33            |      |
| 7800              | 0,45                                   | 0,77   | 1,12 | 1,49 | 1,87 | 2,22 | 2,50 |      |      | 0,04 | 0,19   | 0,30            | 0,34            |      |
| 8000              | 0,44                                   | 0,76   | 1,11 | 1,49 | 1,86 | 2,20 | 2,47 |      |      | 0,04 | 0,19   | 0,31            | 0,35            |      |
| 8200              | 0,42                                   | 0,75   | 1,11 | 1,48 | 1,85 | 2,17 |      |      |      | 0,04 | 0,20   | 0,32            | 0,35            |      |
| 8400              | 0,41                                   | 0,74   | 1,10 | 1,47 | 1,83 | 2,15 |      |      |      | 0,04 | 0,20   | 0,32            | 0,36            |      |

v = 20 m/s, el valor a número de poleas  
de aplicación

Equilibradas dinamicamente (para más detalles vea DIN 2211)

Poleas

## ANEXO F: PROPIEDADES MECÁNICAS ACERO INOXIDABLE AISI 304

### 304 Stainless Steel

**Categories:** [Metal](#), [Ferrous Metal](#), [Heat Resisting](#), [Stainless Steel](#), [T 300 Series Stainless Steel](#)

**Material Notes:** This MatWeb entry has typical values for specimens of unknown form/heat treatment but appear to be annealed samples. We are creating other entries for more specific heat treatments and forms. Austenitic Cr-Ni stainless steel. Better corrosion resistance than Type 302. High ductility, excellent drawing, forming, and spinning properties. Essentially non-magnetic, becomes slightly magnetic when cold worked. Low carbon content means less carbide precipitation in the heat-affected zone during welding and a lower susceptibility to intergranular corrosion.

**Applications:** beer kegs, bellows, chemical equipment, coal hopper linings, cooking equipment, cooling coils, cryogenic vessels, dairy equipment, evaporators, flatware utensils, feedwater tubing, flexible metal hose, food processing equipment, hospital surgical equipment, hypodermic needles, kitchen sinks, marine equipment and fasteners, nuclear vessels, oil well filter screens, refrigeration equipment, paper industry, pots and pans, pressure vessels, sanitary fittings, valves, shipping drums, spinning, still tubes, textile dyeing equipment, tubing.

**Corrosion Resistance:** resists most oxidizing acids and salt spray.

UNS S30400, AMS 5501, 5513, 5560, 5565, ASME SA182, SA194 (8), SA213, SA240, ASTM A167, A182, A193, A194

**Key Words:** aisi304, AISI 304, T304, T 304, SUS304, SS304, 304SS, 304 SS, UNS S30400, AMS 5501, AMS 5513, AMS 5560, AMS 5565, AMS 5566, AMS 5567, AMS 5639, AMS 5697, ASME SA182, ASME SA194 (8), ASME SA213, ASME SA240, ASME SA249, ASME SA312, ASME SA320 (B8), ASME SA358, ASME SA376, ASME SA403, ASME SA409, ASME SA430, ASME SA479, ASME SA688, ASTM A167, ASTM A182, ASTM A193, ASTM A194, ASTM A666, FED QQ-S-763, MILSPEC MIL-S-5059, SAE 30304, DIN 1.4301, X5CrNi189, B.S. 304 S 15, EN 58E, PN 86020 (Poland), OH18N9, ISO 4954 X5CrNi189E, ISO 683/13 11, 18-8

**Vendors:** [Click here to view all available suppliers for this material.](#)

Please [click here](#) if you are a supplier and would like information on how to add your listing to this material.

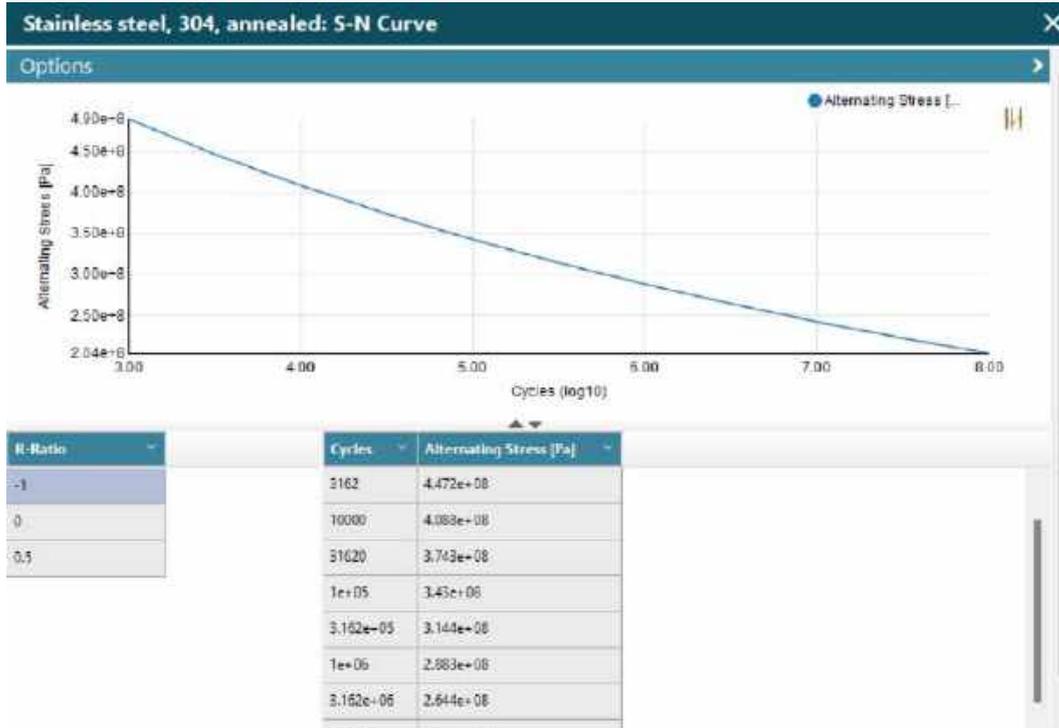
| Physical Properties  | Metric                                   | English                                  | Comments                            |
|--|--|--|-------------------------------------|
| Density  | 8.00 g/cc                                | 0.289 lb/in <sup>3</sup>                 |                                     |
| Mechanical Properties  | Metric                                   | English                                  | Comments                            |
| Hardness, Brinell  | 123                                      | 123                                      | Converted from Rockwell B hardness. |
| Hardness, Knoop  | 138                                      | 138                                      | Converted from Rockwell B hardness. |
| Hardness, Rockwell B   | 70                                       | 70                                       |                                     |
| Hardness, Vickers  | 129                                      | 129                                      | Converted from Rockwell B hardness. |
| Tensile Strength, Ultimate   | 505 MPa                                  | 73200 psi                                |                                     |
| Tensile Strength, Yield  | 215 MPa<br>@Strain 0.200 %               | 31200 psi<br>@Strain 0.200 %             |                                     |
| Elongation at Break  | 70 %                                     | 70 %                                     | in 50 mm                            |
| Modulus of Elasticity  | 193 GPa                                  | 28000 ksi                                |                                     |
| Poissons Ratio   | 0.29                                     | 0.29                                     |                                     |
| Shear Modulus  | 77.0 GPa                                 | 11200 ksi                                |                                     |
| Izod Impact             | 150 J<br>@Temperature -195 °C            | 111 ft-lb<br>@Temperature -319 °F        | V-Notch                             |
|  | 150 J<br>@Temperature 21.0 °C            | 111 ft-lb<br>@Temperature 69.8 °F        | V-Notch                             |
| Charpy Impact  | 325 J                                    | 240 ft-lb                                |                                     |
| Electrical Properties  | Metric                                   | English                                  | Comments                            |
| Electrical Resistivity  | 0.0000720 ohm-cm<br>@Temperature 20.0 °C | 0.0000720 ohm-cm<br>@Temperature 68.0 °F |                                     |
|  | 0.000116 ohm-cm<br>@Temperature 650 °C   | 0.000116 ohm-cm<br>@Temperature 1200 °F  |                                     |
| Magnetic Permeability  | 1.020                                    | 1.020                                    | at RT                               |

| Thermal Properties                       | Metric                                     | English   | Comments |
|--|--|---|----------|
| CTE, linear <a href="#">[i]</a>          | 17.3 $\mu\text{m/m}\cdot^\circ\text{C}$    | 9.61 $\mu\text{in/in}\cdot^\circ\text{F}$                 |          |
|  | @ Temperature 0.000 - 100 $^\circ\text{C}$ | @ Temperature 32.0 - 212 $^\circ\text{F}$                 |          |
|  | 17.8 $\mu\text{m/m}\cdot^\circ\text{C}$    | 9.89 $\mu\text{in/in}\cdot^\circ\text{F}$                 |          |
|  | @ Temperature 0.000 - 315 $^\circ\text{C}$ | @ Temperature 32.0 - 599 $^\circ\text{F}$                 |          |
|  | 18.7 $\mu\text{m/m}\cdot^\circ\text{C}$    | 10.4 $\mu\text{in/in}\cdot^\circ\text{F}$                 |          |
|  | @ Temperature 0.000 - 650 $^\circ\text{C}$ | @ Temperature 32.0 - 1200 $^\circ\text{F}$                |          |
| Specific Heat Capacity                   | 0.500 $\text{J/g}\cdot^\circ\text{C}$      | 0.120 $\text{BTU/lb}\cdot^\circ\text{F}$                  |          |
|  | @ Temperature 0.000 - 100 $^\circ\text{C}$ | @ Temperature 32.0 - 212 $^\circ\text{F}$                 |          |
| Thermal Conductivity <a href="#">[i]</a> | 16.2 $\text{W/m}\cdot\text{K}$             | 112 $\text{BTU-in/hr}\cdot\text{ft}^2\cdot^\circ\text{F}$ |          |
|  | @ Temperature 0.000 - 100 $^\circ\text{C}$ | @ Temperature 32.0 - 212 $^\circ\text{F}$                 |          |
|  | 21.5 $\text{W/m}\cdot\text{K}$             | 149 $\text{BTU-in/hr}\cdot\text{ft}^2\cdot^\circ\text{F}$ |          |
|  | @ Temperature 500 $^\circ\text{C}$         | @ Temperature 932 $^\circ\text{F}$                        |          |
| Melting Point                            | 1400 - 1455 $^\circ\text{C}$               | 2550 - 2651 $^\circ\text{F}$                              |          |
| Solidus                                  | 1400 $^\circ\text{C}$                      | 2550 $^\circ\text{F}$                                     |          |
| Liquidus                                 | 1455 $^\circ\text{C}$                      | 2651 $^\circ\text{F}$                                     |          |

| Component Elements Properties | Metric         | English        | Comments   |
|-------------------------------|----------------|----------------|------------|
| Carbon, C                     | $\leq 0.080\%$ | $\leq 0.080\%$ |            |
| Chromium, Cr                  | 18 - 20 %      | 18 - 20 %      |            |
| Iron, Fe                      | 66.345 - 74 %  | 66.345 - 74 %  | as balance |
| Manganese, Mn                 | $\leq 2.0\%$   | $\leq 2.0\%$   |            |
| Nickel, Ni                    | 8.0 - 10.5 %   | 8.0 - 10.5 %   |            |
| Phosphorus, P                 | $\leq 0.045\%$ | $\leq 0.045\%$ |            |
| Silicon, Si                   | $\leq 1.0\%$   | $\leq 1.0\%$   |            |
| Sulfur, S                     | $\leq 0.030\%$ | $\leq 0.030\%$ |            |

[References](#) for this datasheet.

Some of the values displayed above may have been converted from their original units and/or rounded in order to display the information in a consistent format. Users requiring more precise data for scientific or engineering calculations can click on the property value to see the original value as well as raw conversions to equivalent units. We advise that you only use the original value or one of its raw conversions in your calculations to minimize rounding error. We also ask that you refer to MatWeb's [Terms of Use](#) regarding this information. [Click here](#) to view all the property values for this datasheet as they were originally entered into MatWeb.



**Stainless steel, 304, annealed**



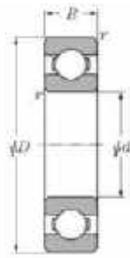
Stainless steel, austenitic, AISI 304, annealed, wrought

Data compiled by [Ansys Granta](#), incorporating various sources including JAHM and MagWeb.  
ANSYS, Inc. provides no warranty for this data.

|   |                        |
|---|------------------------|
| Density   | 7954 kg/m <sup>3</sup> |
| <b>Structural</b>                                 |                        |
| Isotropic Elasticity                              |                        |
| Multilinear Isotropic Hardening                   |                        |
| Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion |                        |
| Coefficient of Thermal Expansion                  |                        |
| Zero-Thermal-Strain Reference Temperature         | 20 °C                  |
| S-N Curve   |                        |
| Tensile Ultimate Strength                         | 5.623e+08 Pa           |
| Tensile Yield Strength                            | 2.521e+08 Pa           |
| <b>Thermal</b>                                    |                        |
| Isotropic Thermal Conductivity                    |                        |
| Specific Heat Constant Pressure                   |                        |

## ANEXO G: RODAMIENTOS Y SOPORTES

### RODAMIENTOS RÍGIDOS DE BOLAS DIÁMETROS 20-35 mm



Tipo abierto



Tipo con tapas (ZZ)



Tipo con sello de no contacto (LLB, LLF)



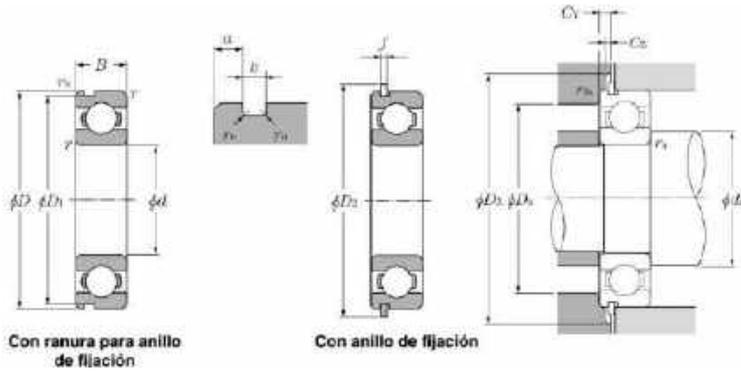
Tipo con sello de bajo torque (LLH)



Tipo con sello de contacto (LLU)

#### d 20~35mm

| d         | Dimensiones principales |     |                      | Capacidades básicas de carga |                |                |                | Factor | Velocidades límites |                       |                         |        | Números de rodamientos |              |           |                          |                          |                       |
|-----------|-------------------------|-----|----------------------|------------------------------|----------------|----------------|----------------|--------|---------------------|-----------------------|-------------------------|--------|------------------------|--------------|-----------|--------------------------|--------------------------|-----------------------|
|           | mm                      |     |                      | KN                           |                | kgf            |                |        | f <sub>d</sub>      | r.p.m.                |                         |        |                        | tipo abierto | con tapas | con sello de no contacto | con sello de bajo torque | con sello de contacto |
|           | D                       | B   | r <sub>max</sub> (1) | C <sub>d</sub>               | C <sub>e</sub> | C <sub>d</sub> | C <sub>e</sub> |        |                     | grasa tipo abierto ZZ | aceite tipo abierto LLB | LLH    | LLU                    |              |           |                          |                          |                       |
| <b>20</b> | 72                      | 19  | 1.1                  | —                            | 28.5           | 13.9           | 2 900          | 1 420  | 11.4                | 12 000                | 14 000                  | —      | —                      | 6404         | —         | —                        | —                        | —                     |
| <b>22</b> | 44                      | 12  | 0.6                  | 0.5                          | 9.40           | 5.05           | 955            | 515    | 13.9                | 17 000                | 20 000                  | 13 000 | 10 000                 | 60/22        | ZZ        | LLB                      | LLH                      | LLU                   |
|           | 50                      | 14  | 1                    | 0.5                          | 12.9           | 6.80           | 1 320          | 690    | 13.5                | 14 000                | 17 000                  | 12 000 | 9 700                  | 62/22        | ZZ        | LLB                      | LLH                      | LLU                   |
|           | 56                      | 16  | 1.1                  | 0.5                          | 18.4           | 9.25           | 1 880          | 945    | 12.4                | 13 000                | 15 000                  | 11 000 | 9 200                  | 63/22        | ZZ        | LLB                      | LLH                      | LLU                   |
| <b>25</b> | 32                      | 4   | 0.2                  | —                            | 1.10           | 0.840          | 112            | 86     | 15.8                | 4 000                 | 4 600                   | —      | —                      | 6705         | —         | LLF                      | —                        | —                     |
|           | 37                      | 7   | 0.3                  | 0.3                          | 4.30           | 2.95           | 435            | 300    | 16.1                | 18 000                | 21 000                  | —      | 10 000                 | 6805         | ZZ        | LLB                      | —                        | LLU                   |
|           | 42                      | 9   | 0.3                  | 0.3                          | 7.05           | 4.55           | 715            | 460    | 15.4                | 16 000                | 19 000                  | —      | 9 800                  | 6905         | ZZ        | LLB                      | —                        | LLU                   |
|           | 47                      | 8   | 0.3                  | —                            | 8.35           | 5.10           | 855            | 520    | 15.1                | 15 000                | 18 000                  | —      | —                      | 16005        | —         | —                        | —                        | —                     |
|           | 47                      | 12  | 0.6                  | 0.5                          | 10.1           | 5.85           | 1 030          | 595    | 14.5                | 15 000                | 18 000                  | 11 000 | 9 400                  | 6005         | ZZ        | LLB                      | LLH                      | LLU                   |
|           | 52                      | 15  | 1                    | 0.5                          | 14.0           | 7.85           | 1 430          | 800    | 13.9                | 13 000                | 15 000                  | 11 000 | 8 900                  | 6205         | ZZ        | LLB                      | LLH                      | LLU                   |
|           | 62                      | 17  | 1.1                  | 0.5                          | 21.2           | 10.9           | 2 160          | 1 110  | 12.6                | 12 000                | 14 000                  | 9 700  | 8 100                  | 6305         | ZZ        | LLB                      | LLH                      | LLU                   |
| 80        | 21                      | 1.5 | —                    | 34.5                         | 17.5           | 3 550          | 1 780          | 11.6   | 10 000              | 12 000                | —                       | —      | 6405                   | —            | —         | —                        | —                        |                       |
| <b>28</b> | 52                      | 12  | 0.6                  | 0.5                          | 12.5           | 7.40           | 1 270          | 755    | 14.5                | 14 000                | 16 000                  | 10 000 | 8 400                  | 60/28        | ZZ        | LLB                      | LLH                      | LLU                   |
|           | 58                      | 16  | 1                    | 0.5                          | 17.9           | 9.75           | 1 830          | 995    | 13.4                | 12 000                | 14 000                  | 9 700  | 8 100                  | 62/28        | ZZ        | LLB                      | LLH                      | LLU                   |
|           | 66                      | 18  | 1.1                  | 0.5                          | 26.7           | 14.0           | 2 730          | 1 430  | 12.4                | 11 000                | 13 000                  | 8 900  | 7 400                  | 63/28        | ZZ        | LLB                      | LLH                      | LLU                   |
| <b>30</b> | 37                      | 4   | 0.2                  | —                            | 1.14           | 0.950          | 117            | 97     | 15.7                | 3 300                 | 3 800                   | —      | —                      | 6706         | —         | LLF                      | —                        | —                     |
|           | 42                      | 7   | 0.3                  | 0.3                          | 4.70           | 3.65           | 480            | 370    | 16.5                | 15 000                | 18 000                  | —      | 8 800                  | 6806         | ZZ        | LLB                      | —                        | LLU                   |
|           | 47                      | 9   | 0.3                  | 0.3                          | 7.25           | 5.00           | 740            | 510    | 15.8                | 14 000                | 17 000                  | —      | 8 400                  | 6906         | ZZ        | LLB                      | —                        | LLU                   |
|           | 55                      | 9   | 0.3                  | —                            | 11.2           | 7.35           | 1 150          | 750    | 15.2                | 13 000                | 15 000                  | —      | —                      | 16006        | —         | —                        | —                        | —                     |
|           | 55                      | 13  | 1                    | 0.5                          | 13.2           | 8.3            | 1 350          | 845    | 14.8                | 13 000                | 15 000                  | 9 200  | 7 700                  | 6006         | ZZ        | LLB                      | LLH                      | LLU                   |
|           | 62                      | 16  | 1                    | 0.5                          | 19.5           | 11.3           | 1 980          | 1 150  | 13.8                | 11 000                | 13 000                  | 8 800  | 7 300                  | 6206         | ZZ        | LLB                      | LLH                      | LLU                   |
|           | 72                      | 19  | 1.1                  | 0.5                          | 26.7           | 15.0           | 2 720          | 1 530  | 13.3                | 10 000                | 12 000                  | 7 900  | 6 600                  | 6306         | ZZ        | LLB                      | LLH                      | LLU                   |
| 90        | 23                      | 1.5 | —                    | 43.5                         | 23.9           | 4 400          | 2 440          | 12.3   | 8 800               | 10 000                | —                       | —      | 6406                   | —            | —         | —                        | —                        |                       |
| <b>32</b> | 58                      | 13  | 1                    | 0.5                          | 11.8           | 8.05           | 1 200          | 820    | 15.4                | 12 000                | 15 000                  | 8 700  | 7 200                  | 60/32        | ZZ        | LLB                      | LLH                      | LLU                   |
|           | 65                      | 17  | 1                    | 0.5                          | 20.7           | 11.6           | 2 110          | 1 190  | 13.6                | 11 000                | 12 000                  | 8 400  | 7 100                  | 62/32        | ZZ        | LLB                      | LLH                      | LLU                   |
|           | 75                      | 20  | 1.1                  | 0.5                          | 29.8           | 16.9           | 3 050          | 1 730  | 13.1                | 9 500                 | 11 000                  | 7 700  | 6 500                  | 63/32        | ZZ        | LLB                      | LLH                      | LLU                   |
| <b>35</b> | 47                      | 7   | 0.3                  | 0.3                          | 4.90           | 4.05           | 500            | 410    | 16.4                | 13 000                | 16 000                  | —      | 7 600                  | 6807         | ZZ        | LLB                      | —                        | LLU                   |
|           | 55                      | 10  | 0.6                  | 0.5                          | 9.55           | 6.85           | 975            | 695    | 15.8                | 12 000                | 15 000                  | —      | 7 100                  | 6907         | ZZ        | LLB                      | —                        | LLU                   |
|           | 62                      | 9   | 0.3                  | —                            | 11.7           | 8.20           | 1 190          | 835    | 15.6                | 12 000                | 14 000                  | —      | —                      | 16007        | —         | —                        | —                        | —                     |
|           | 62                      | 14  | 1                    | 0.5                          | 16.0           | 10.3           | 1 630          | 1 050  | 14.8                | 12 000                | 14 000                  | 8 200  | 6 800                  | 6007         | ZZ        | LLB                      | LLH                      | LLU                   |
|           | 72                      | 17  | 1.1                  | 0.5                          | 25.7           | 15.3           | 2 620          | 1 560  | 13.8                | 9 800                 | 11 000                  | 7 600  | 6 300                  | 6207         | ZZ        | LLB                      | LLH                      | LLU                   |
|           | 80                      | 21  | 1.5                  | 0.5                          | 33.5           | 19.1           | 3 400          | 1 950  | 13.1                | 8 800                 | 10 000                  | 7 300  | 6 000                  | 6307         | ZZ        | LLB                      | LLH                      | LLU                   |
| 100       | 25                      | 1.5 | —                    | 55.0                         | 31.0           | 5 600          | 3 150          | 12.3   | 7 800               | 9 100                 | —                       | —      | 6407                   | —            | —         | —                        | —                        |                       |



**Carga radial dinámica equivalente**

$P_d = X F_r + Y F_a$

| $\frac{F_a \cdot F_r}{C_{or}}$ | $\epsilon$ | $\frac{F_a}{F_r} \leq e$ |   | $\frac{F_a}{F_r} > e$ |      |
|--------------------------------|------------|--------------------------|---|-----------------------|------|
|                                |            | X                        | Y | X                     | Y    |
| 0.172                          | 0.19       |                          |   |                       | 2.30 |
| 0.345                          | 0.22       |                          |   |                       | 1.99 |
| 0.689                          | 0.26       |                          |   |                       | 1.71 |
| 1.03                           | 0.28       |                          |   |                       | 1.55 |
| 1.38                           | 0.30       | 1                        | 0 | 0.56                  | 1.45 |
| 2.07                           | 0.34       |                          |   |                       | 1.31 |
| 3.45                           | 0.38       |                          |   |                       | 1.15 |
| 5.17                           | 0.42       |                          |   |                       | 1.04 |
| 6.89                           | 0.44       |                          |   |                       | 1.00 |

**Carga radial estática equivalente**

$P_{st} = 0.6 F_r + 0.5 F_a$

Cuando  $P_{st} < F_r$  use  $P_{st} = F_r$

## CHUMACERA

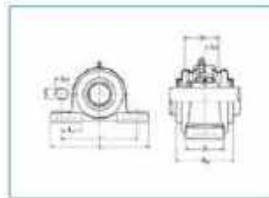


### NTN BEARING CORPORATION OF AMERICA

Head Office  
1600 E. Bishop Court, P.O. Box 7604  
Mount Prospect, IL 60056-7604, U.S.A.  
**Phone:** 847-298-7500  
**Fax:** 847-699-9744  
**Toll Free:** 800-323-2358  
**Email:** [ntn@ntnamerica.com](mailto:ntn@ntnamerica.com)  
**Website:** [www.ntnamerica.com](http://www.ntnamerica.com)

## Item # S-UCP207, Pillow Block Unit, Set Screw, Pressed Steel Dust Cover, Open End, UCP Type

Cast Iron Bearing Unit, Pillow Block Type, Open-End Pressed Steel Cover



[Order Now](#) | [Technical Specifications](#) | [Dimensional Specifications](#)

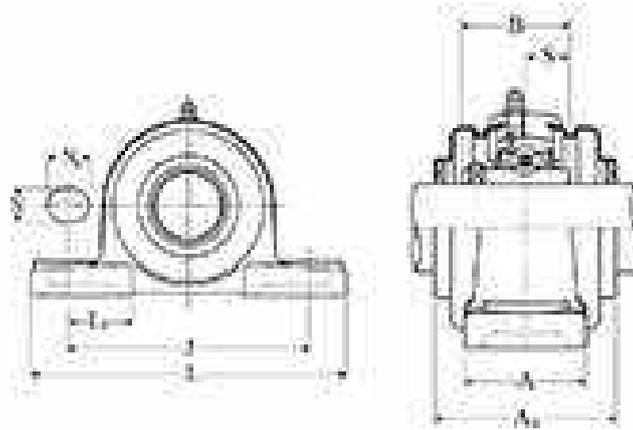
### Order Now

#### Ordering Options

[Order Online through NTN DOL](#)  
[Contact NTN Customer Relations](#)  
[Search for a Licensed Distributor](#)

### Technical Specifications

|                             |                                 |
|-----------------------------|---------------------------------|
| Type                        | Pillow Block Unit               |
| Bearing Type                | Ball Bearing                    |
| Locking Device              | Set Screw                       |
| Seal Type                   | Contact                         |
| Housing Material            | Cast Iron                       |
| Housing Construction        | 1 Piece                         |
| End Type                    | Open                            |
| Performance                 | Light Duty                      |
| Dynamic Load Rating         | 5800 lbf<br>25700 N<br>25.70 kN |
| Static Load Rating          | 3450 lbf<br>15300 N<br>15.30 kN |
| Rotational Speed [Max]      | 4200 RPM                        |
| Weight                      | 3.750 lb<br>1.700 kg            |
| Operating Temperature Range | -40 to 250 °F<br>-40 to 120 °C  |



### Dimensional Specifications

|           |                        |
|-----------|------------------------|
| <b>d</b>  | 1.3780 in<br>35.000 mm |
| <b>J</b>  | 5.0000 in<br>127.0 mm  |
| <b>L</b>  | 6.5625 in<br>167.0 mm  |
| <b>A</b>  | 1.8750 in<br>48.0 mm   |
| <b>A4</b> | 2.8437 in<br>72.0 mm   |

|           |                        |
|-----------|------------------------|
| <b>H</b>  | 1.8740 in<br>47.6 mm   |
| <b>H1</b> | 0.7087 in<br>18.0 mm   |
| <b>H2</b> | 3.5562 in<br>93.0 mm   |
| <b>N</b>  | 0.6562 in<br>17.0 mm   |
| <b>N1</b> | 0.7812 in<br>20.0 mm   |
| <b>B</b>  | 1.5890 in<br>42.900 mm |
| <b>S</b>  | 0.6890 in<br>17.500 mm |

ANEXO H: HOJA DE ESPECIFICACIONES CHAVETAS ACERO INOX DIN 6885

# DIN 6885



## Chavetas

Acero / Acero inoxidable

### ESPECIFICACIÓN

#### Tipo

- Tipo **A**: extremos redondeados, versión larga

#### Modelo en acero

Acero C45+C  
sin tratar

#### Modelo en acero inoxidable

Acero inoxidable AISI 316Ti **NI**

### INFORMACIÓN

Las chavetas DIN 6885 se suministran solamente en paquetes de 50 uds para cada tamaño y longitud disponible.

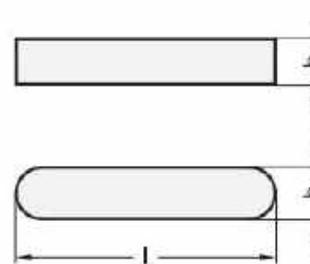
Las chavetas de acero inoxidable DIN 6885 se suministran solamente en paquetes de 10 uds para cada tamaño y longitud disponible.

### BAJO PEDIDO

- b = 14, 16, 18, 20

### DATOS TÉCNICOS

- Tolerancias fundamentales ISO (ver página A21)
- Tipo de chaveta en el eje hueco y en el eje (ver página A16)
- Características del acero inoxidable (ver página A26)



### DIN 6885-NI STAINLESS STEEL

| Descripción          | b h9 | h | l  | Para eje-Ø de...a | ΔΔ |
|----------------------|------|---|----|-------------------|----|
| DIN 6885-3-3-6-A-NI  | 3    | 3 | 6  | 8..10             | 1  |
| DIN 6885-3-3-8-A-NI  | 3    | 3 | 8  | 8..10             | 1  |
| DIN 6885-3-3-10-A-NI | 3    | 3 | 10 | 8..10             | 1  |
| DIN 6885-3-3-12-A-NI | 3    | 3 | 12 | 8..10             | 1  |
| DIN 6885-3-3-14-A-NI | 3    | 3 | 14 | 8..10             | 1  |
| DIN 6885-3-3-16-A-NI | 3    | 3 | 16 | 8..10             | 1  |
| DIN 6885-3-3-18-A-NI | 3    | 3 | 18 | 8..10             | 1  |
| DIN 6885-3-3-20-A-NI | 3    | 3 | 20 | 8..10             | 1  |
| DIN 6885-4-4-10-A-NI | 4    | 4 | 10 | 10..12            | 1  |
| DIN 6885-4-4-12-A-NI | 4    | 4 | 12 | 10..12            | 2  |
| DIN 6885-4-4-14-A-NI | 4    | 4 | 14 | 10..12            | 2  |
| DIN 6885-4-4-16-A-NI | 4    | 4 | 16 | 10..12            | 2  |
| DIN 6885-4-4-18-A-NI | 4    | 4 | 18 | 10..12            | 2  |
| DIN 6885-4-4-20-A-NI | 4    | 4 | 20 | 10..12            | 3  |
| DIN 6885-4-4-22-A-NI | 4    | 4 | 22 | 10..12            | 4  |
| DIN 6885-4-4-25-A-NI | 4    | 4 | 25 | 10..12            | 3  |
| DIN 6885-4-4-28-A-NI | 4    | 4 | 28 | 10..12            | 4  |
| DIN 6885-4-4-32-A-NI | 4    | 4 | 32 | 10..12            | 4  |
| DIN 6885-5-5-10-A-NI | 5    | 5 | 10 | 12..17            | 2  |
| DIN 6885-5-5-12-A-NI | 5    | 5 | 12 | 12..17            | 2  |
| DIN 6885-5-5-14-A-NI | 5    | 5 | 14 | 12..17            | 2  |
| DIN 6885-5-5-16-A-NI | 5    | 5 | 16 | 12..17            | 3  |
| DIN 6885-5-5-18-A-NI | 5    | 5 | 18 | 12..17            | 4  |
| DIN 6885-5-5-20-A-NI | 5    | 5 | 20 | 12..17            | 4  |
| DIN 6885-5-5-22-A-NI | 5    | 5 | 22 | 12..17            | 4  |
| DIN 6885-5-5-25-A-NI | 5    | 5 | 25 | 12..17            | 5  |
| DIN 6885-5-5-28-A-NI | 5    | 5 | 28 | 12..17            | 6  |
| DIN 6885-5-5-32-A-NI | 5    | 5 | 32 | 12..17            | 6  |
| DIN 6885-5-5-36-A-NI | 5    | 5 | 36 | 12..17            | 7  |
| DIN 6885-5-5-40-A-NI | 5    | 5 | 40 | 12..17            | 8  |
| DIN 6885-5-5-45-A-NI | 5    | 5 | 45 | 12..17            | 9  |
| DIN 6885-5-5-50-A-NI | 5    | 5 | 50 | 12..17            | 10 |
| DIN 6885-6-6-14-A-NI | 6    | 6 | 14 | 17..22            | 4  |
| DIN 6885-6-6-16-A-NI | 6    | 6 | 16 | 17..22            | 5  |
| DIN 6885-6-6-18-A-NI | 6    | 6 | 18 | 17..22            | 5  |
| DIN 6885-6-6-20-A-NI | 6    | 6 | 20 | 17..22            | 6  |
| DIN 6885-6-6-22-A-NI | 6    | 6 | 22 | 17..22            | 6  |
| DIN 6885-6-6-25-A-NI | 6    | 6 | 25 | 17..22            | 7  |
| DIN 6885-6-6-28-A-NI | 6    | 6 | 28 | 17..22            | 8  |
| DIN 6885-6-6-32-A-NI | 6    | 6 | 32 | 17..22            | 9  |
| DIN 6885-6-6-36-A-NI | 6    | 6 | 36 | 17..22            | 10 |
| DIN 6885-6-6-40-A-NI | 6    | 6 | 40 | 17..22            | 11 |
| DIN 6885-6-6-45-A-NI | 6    | 6 | 45 | 17..22            | 12 |
| DIN 6885-6-6-50-A-NI | 6    | 6 | 50 | 17..22            | 14 |

### DIN 6885-NI STAINLESS STEEL

| Descripción            | b h9 | h | l   | Para eje-Ø de...a | ΔΔ |
|------------------------|------|---|-----|-------------------|----|
| DIN 6885-6-6-56-A-NI   | 6    | 6 | 56  | 17..22            | 16 |
| DIN 6885-6-6-63-A-NI   | 6    | 6 | 63  | 17..22            | 18 |
| DIN 6885-8-7-16-A-NI   | 8    | 7 | 16  | 22..30            | 7  |
| DIN 6885-8-7-18-A-NI   | 8    | 7 | 18  | 22..30            | 8  |
| DIN 6885-8-7-20-A-NI   | 8    | 7 | 20  | 22..30            | 9  |
| DIN 6885-8-7-22-A-NI   | 8    | 7 | 22  | 22..30            | 10 |
| DIN 6885-8-7-24-A-NI   | 8    | 7 | 24  | 22..30            | 11 |
| DIN 6885-8-7-25-A-NI   | 8    | 7 | 25  | 22..30            | 11 |
| DIN 6885-8-7-28-A-NI   | 8    | 7 | 28  | 22..30            | 12 |
| DIN 6885-8-7-32-A-NI   | 8    | 7 | 32  | 22..30            | 14 |
| DIN 6885-8-7-36-A-NI   | 8    | 7 | 36  | 22..30            | 16 |
| DIN 6885-8-7-40-A-NI   | 8    | 7 | 40  | 22..30            | 18 |
| DIN 6885-8-7-45-A-NI   | 8    | 7 | 45  | 22..30            | 20 |
| DIN 6885-8-7-50-A-NI   | 8    | 7 | 50  | 22..30            | 22 |
| DIN 6885-8-7-56-A-NI   | 8    | 7 | 56  | 22..30            | 25 |
| DIN 6885-8-7-63-A-NI   | 8    | 7 | 63  | 22..30            | 28 |
| DIN 6885-10-8-20-A-NI  | 10   | 8 | 20  | 30..38            | 13 |
| DIN 6885-10-8-22-A-NI  | 10   | 8 | 22  | 30..38            | 14 |
| DIN 6885-10-8-25-A-NI  | 10   | 8 | 25  | 30..38            | 16 |
| DIN 6885-10-8-28-A-NI  | 10   | 8 | 28  | 30..38            | 18 |
| DIN 6885-10-8-32-A-NI  | 10   | 8 | 32  | 30..38            | 20 |
| DIN 6885-10-8-36-A-NI  | 10   | 8 | 36  | 30..38            | 23 |
| DIN 6885-10-8-40-A-NI  | 10   | 8 | 40  | 30..38            | 25 |
| DIN 6885-10-8-45-A-NI  | 10   | 8 | 45  | 30..38            | 28 |
| DIN 6885-10-8-50-A-NI  | 10   | 8 | 50  | 30..38            | 31 |
| DIN 6885-10-8-56-A-NI  | 10   | 8 | 56  | 30..38            | 35 |
| DIN 6885-10-8-63-A-NI  | 10   | 8 | 63  | 30..38            | 40 |
| DIN 6885-10-8-70-A-NI  | 10   | 8 | 70  | 30..38            | 44 |
| DIN 6885-10-8-80-A-NI  | 10   | 8 | 80  | 30..38            | 50 |
| DIN 6885-10-8-90-A-NI  | 10   | 8 | 90  | 30..38            | 57 |
| DIN 6885-12-8-25-A-NI  | 12*  | 8 | 25  | 38..44            | 18 |
| DIN 6885-12-8-28-A-NI  | 12*  | 8 | 28  | 38..44            | 21 |
| DIN 6885-12-8-32-A-NI  | 12*  | 8 | 32  | 38..44            | 24 |
| DIN 6885-12-8-36-A-NI  | 12*  | 8 | 36  | 38..44            | 27 |
| DIN 6885-12-8-40-A-NI  | 12*  | 8 | 40  | 38..44            | 30 |
| DIN 6885-12-8-45-A-NI  | 12*  | 8 | 45  | 38..44            | 34 |
| DIN 6885-12-8-50-A-NI  | 12*  | 8 | 50  | 38..44            | 38 |
| DIN 6885-12-8-56-A-NI  | 12*  | 8 | 56  | 38..44            | 42 |
| DIN 6885-12-8-63-A-NI  | 12*  | 8 | 63  | 38..44            | 48 |
| DIN 6885-12-8-70-A-NI  | 12*  | 8 | 70  | 38..44            | 53 |
| DIN 6885-12-8-80-A-NI  | 12*  | 8 | 80  | 38..44            | 60 |
| DIN 6885-12-8-90-A-NI  | 12*  | 8 | 90  | 38..44            | 68 |
| DIN 6885-12-8-100-A-NI | 12*  | 8 | 100 | 38..44            | 75 |

\* no disponible en stock, requiere una cantidad de pedido mínima

## ANEXO I: CARACTERÍSTICAS DE LOS PERNOS A2 II CRC

**TOB**material

**TOBSTEEL**

# Werkstoffdatenblatt Material data sheet



Austenitischer nichtrostender Stahl | Austenitic stainless steel

| Stahlsorte<br>Steel grade | Werkstoffnummer<br>Material number | Kurzname<br>Short name                |
|---------------------------|------------------------------------|---------------------------------------|
| <b>A2</b>                 | <b>1.4301<br/>1.4567</b>           | <b>X5CrNi18-10<br/>X3CrNiCu18-9-4</b> |

Korrosionsbeständigkeitsklasse CRC II  
mäßige Beständigkeit  
Corrosion Resistance Class CRC II  
moderately resistance

Mechanische Eigenschaften | Mechanical properties

| Festigkeitsklasse<br>Property class | Zugfestigkeit $R_m$ (N/mm <sup>2</sup> )<br>Tensile strength $R_m$ (N/mm <sup>2</sup> ) | Dehn-/Streckgrenze $R_{p0.2}$ (N/mm <sup>2</sup> )<br>Yield/proof strength $R_{p0.2}$ (N/mm <sup>2</sup> ) |
|-------------------------------------|---|--|
| 50                                  | min. 500  | min. 195   |
| 70                                  | min. 700  | min. 450   |
| 80                                  | min. 800  | min. 600   |



Chemische Zusammensetzung | Chemical composition

| C<br>max. | Si<br>max. | Mn<br>max. | P<br>max. | S<br>max. | N | Cr                | Mo | Ni               | Cu   |
|-----------|------------|------------|-----------|-----------|---|-------------------|----|------------------|------|
| 0,10      | 1,00       | 2,00       | 0,050     | 0,030     | - | 15,0<br>▼<br>20,0 | -  | 8,0<br>▼<br>19,0 | 4,00 |

Int. Standards im Vergleich | International standards in comparison

| Werkstoffnr.<br>Material no. | AISI/<br>ASTM <sup>1)</sup> | UNS <sup>2)</sup> | B5 <sup>3)</sup> | AFNOR <sup>4)</sup> | UNE <sup>5)</sup> | SS <sup>6)</sup> | Legierung<br>Alloy |
|------------------------------|-----------------------------|-------------------|------------------|---------------------|-------------------|------------------|--------------------|
| 1.4301                       | 304                         | S 30400           | 304 S 15         | Z6 CN 18.09         | F.3501            | 2332             | --                 |
| 1.4567                       | 304 Cu                      | S 304430          | 394 S 17         | Z3 CNU 18.10 FF     | --                | --               | --                 |

<sup>1)</sup>AISI = American Iron and Steel Institute  
<sup>2)</sup>ASTM = American Society for Testing and Materials  
<sup>3)</sup>UNS = Unified Numbering System  
<sup>4)</sup>BS = British Standards  
<sup>5)</sup>AFNOR = Association Française de Normalisation  
<sup>6)</sup>UNE = Spanish Standards  
SS = Swedish Standards



### Austenitic stainless steel

**A2 | 1.4301 | X5CrNi18-10**

**A2 | 1.4567 | X3CrNiCu18-9-4**

The most frequently used stainless steel of grade A2 is also called the "classic stainless steel" and belongs to corrosion resistance class (CRC) II.

Alternative designations:  
V2A or AISI 304

DIN EN 1993-1-4:2015-10/Eurocode 3 and the general technical approval regulate for which purpose the steel grade V2A is suited.

# ANEXO J: PROPIEDADES MECÁNICAS PERFILERÍA ESTRUCTURAL ACERO INOXIDABLE

## ÁNGULOS INOXIDABLES



### ÁNGULOS INOXIDABLES

Son perfiles angulares estructurales, sus alas forman un ángulo recto de 90 grados, sus dos alas son de igual medida, al ser de acero inoxidable, aleado con Cr, Ni, obtiene excelentes propiedades para la soldadura, ductilidad y pulido. Sus buenas características de resistencia a la corrosión lo hacen apto para desempeñarse bien en una amplia gama de ambientes corrosivos como aguas dulces y atmósferas naturales, incluyendo productos de petróleo calientes o con vapores de combustión de gases, se utilizan en los ambientes más corrosivos como plantas

químicas, plantas de procesamiento de alimentos y bebidas, aplicaciones marinas, etc. Puede ser trabajado en frío.

### DESCRIPCIÓN

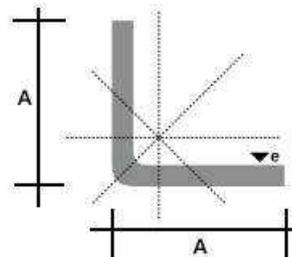
#### Ángulos de acero inoxidable Especificaciones Generales:

|                  |   |
|------------------|---|
| Calidad:         | AISI – 304  |
| Otras Calidades: | Previa Consulta   |
| Largo normal:    | 6.00 m  |
| Otros largos:    | Previa Consulta   |
| Acabado:         | Natural y N1  |
| Otro acabado:    | Previa Consulta   |
| Tipo:            | Ángulos laminados inoxidables                               |
| Calidad:         | ASTM A276 GRADO 304   |
| Aplicaciones:    | Utilizado como elemento estructural en ambientes corrosivos |



| Composición Química |           |            |            |               |             |             |           |           |
|---------------------|-----------|------------|------------|---------------|-------------|-------------|-----------|-----------|
| Grado               | %C (máx.) | %Mn (máx.) | %Si (máx.) | %Ni           | %Cr         | %Mo         | %P (máx.) | %S (máx.) |
| 304                 | 0,08      | 2          | 1          | 8,00 – 11,00  | 18,0 – 20,0 |             | 0,04      | 0,03      |
| 316                 | 0,08      | 2          | 1          | 10,00 – 14,00 | 16,0 – 18,0 | 2,00 – 3,00 | 0,04      | 0,03      |

| DENOMINACION | DIMENSIONES |    | PESOS |       |
|--------------|-------------|----|-------|-------|
|              | mm          |    | kg/m  | kg/6m |
|              | a           | e  |       |       |
| AL 20X2      | 20          | 2  | 0,64  | 3,84  |
| AL 20X3      | 20          | 3  | 0,96  | 5,76  |
| AL 25X2      | 25          | 2  | 0,8   | 4,8   |
| AL 25X3      | 25          | 3  | 1,2   | 7,2   |
| AL 25X4      | 25          | 4  | 1,6   | 9,6   |
| AL 25X6      | 25          | 6  | 2,4   | 14,4  |
| AL 30X3      | 30          | 3  | 1,44  | 8,64  |
| AL 30X4      | 30          | 4  | 1,92  | 11,52 |
| AL 30X6      | 30          | 6  | 2,88  | 17,28 |
| AL 40X3      | 40          | 3  | 1,92  | 11,52 |
| AL 40X4      | 40          | 4  | 2,56  | 15,36 |
| AL 40X6      | 40          | 6  | 3,84  | 23,04 |
| AL 50X3      | 50          | 3  | 2,4   | 14,4  |
| AL 50X4      | 50          | 4  | 3,2   | 19,2  |
| AL 50X6      | 50          | 6  | 4,8   | 28,8  |
| AL 60X6      | 60          | 6  | 5,76  | 34,56 |
| AL 60X8      | 60          | 8  | 7,68  | 46,08 |
| AL 65X6      | 65          | 6  | 6,24  | 37,44 |
| AL 70X6      | 70          | 6  | 6,72  | 40,32 |
| AL 75X6      | 75          | 6  | 7,2   | 43,2  |
| AL 75X8      | 75          | 8  | 9,6   | 57,6  |
| AL 100X6     | 100         | 6  | 9,6   | 57,6  |
| AL 100X8     | 100         | 8  | 12,8  | 76,8  |
| AL 100X10    | 100         | 10 | 16    | 96    |
| AL 100X12    | 100         | 12 | 19,2  | 115,2 |



## CANALES U



### CANALES U

Son perfiles angulares estructurales, sus Son perfiles de acero, lamina al caliente, son conformados ya sea por plegado en una prensa o mediante un Proceso de perfilado Continuo (Roll Forming). Usado en elementos de estructuras para cubiertas, galpones, estructuras en general, construcción de edificios industriales, comerciales, de servicios y en general donde se requiera la edificación de una estructura liviana de alta resistencia y rápida instalación.

## DESCRIPCIÓN

### Perfiles estructurales canal "U" Especificaciones Generales:

|               |                            |
|---------------|----------------------------|
| Norma:        | NTE INEN 1623              |
| Calidad:      | ASTM A36 – SAE J 403 1008  |
| Largo Normal: | 6,00m y medidas especiales |
| Espesores:    | Desde 1.5mm – 12mm         |
| Acabado:      | Acero negro y galvanizado  |



### Otras cualidades, largos y acabados: previa consulta.

- Dimensiones exteriores a la sección transversal.
- Radio de curvatura interior igual a 1.5e para espesores menores a 6.00 mm.
- Radio de curvatura interior igual a 2e para espesores de 6.00 mm o mayores.



| Designación | Dimensiones (mm) |     |   | Área | e      | e1   | Momento de inercia |                |                 |                 | Módulo resistente |                 |                  |                  | Radio de giro  |                |
|-------------|------------------|-----|---|------|--------|------|--------------------|----------------|-----------------|-----------------|-------------------|-----------------|------------------|------------------|----------------|----------------|
|             | h                | b   | t |      |        |      | I <sub>x</sub>     | I <sub>y</sub> | I <sub>xx</sub> | I <sub>yy</sub> | W <sub>xx</sub>   | W <sub>yy</sub> | W <sub>xxx</sub> | W <sub>yyy</sub> | i <sub>x</sub> | i <sub>y</sub> |
|             |                  |     |   |      |        |      |                    |                |                 |                 |                   |                 |                  |                  |                |                |
| C 12x30     | 30               | 26  | 3 | 114  | 187    | 0,12 | 7,96               | 5,13           | 3,82            | 16,4            | 13,4              | 1,72            |                  |                  |                |                |
| C 10x25     | 25               | 20  | 3 | 69,9 | 117    | 0,17 | 5,7                | 3,57           | 2,60            | 9,91            | 8,00              | 0,70            |                  |                  |                |                |
| C 8x20      | 20               | 16  | 2 | 37,7 | 62     | 0,15 | 4,25               | 2,66           | 1,76            | 5,93            | 4,26              | 0,34            |                  |                  |                |                |
| C 6x16      | 16               | 12  | 2 | 23,6 | 37,1   | 0,19 | 3,15               | 2,04           | 1,25            | 3,54            | 2,31              | 0,19            |                  |                  |                |                |
| C 6x15      | 15               | 12  | 2 | 20,8 | 32,1   | 0,15 | 2,71               | 1,73           | 1,02            | 2,81            | 1,91              | 0,16            |                  |                  |                |                |
| C 8x18      | 18               | 14  | 2 | 28,0 | 40,7   | 0,14 | 3,58               | 2,22           | 1,38            | 3,68            | 2,57              | 0,18            |                  |                  |                |                |
| C 10x20     | 20               | 16  | 2 | 37,7 | 54,2   | 0,14 | 4,78               | 2,91           | 1,78            | 4,84            | 3,42              | 0,22            |                  |                  |                |                |
| C 12x25     | 25               | 20  | 3 | 69,9 | 117    | 0,12 | 6,41               | 4,02           | 2,67            | 5,83            | 4,22              | 0,21            |                  |                  |                |                |
| C 12x30     | 30               | 26  | 3 | 114  | 187    | 0,12 | 7,96               | 5,13           | 3,82            | 7,24            | 5,13              | 0,22            |                  |                  |                |                |
| C 15x20     | 20               | 15  | 2 | 20,8 | 28,1   | 0,15 | 3,15               | 1,73           | 1,02            | 2,81            | 1,91              | 0,16            |                  |                  |                |                |
| C 15x25     | 25               | 20  | 3 | 69,9 | 117    | 0,15 | 4,25               | 2,66           | 1,76            | 3,54            | 2,31              | 0,19            |                  |                  |                |                |
| C 15x30     | 30               | 26  | 3 | 114  | 187    | 0,15 | 5,35               | 3,34           | 2,24            | 4,42            | 3,12              | 0,20            |                  |                  |                |                |
| C 18x20     | 20               | 18  | 2 | 28,0 | 36,7   | 0,18 | 3,58               | 2,22           | 1,38            | 3,68            | 2,57              | 0,18            |                  |                  |                |                |
| C 18x25     | 25               | 20  | 3 | 69,9 | 117    | 0,18 | 4,78               | 2,91           | 1,78            | 4,84            | 3,42              | 0,22            |                  |                  |                |                |
| C 18x30     | 30               | 26  | 3 | 114  | 187    | 0,18 | 5,98               | 3,59           | 2,39            | 6,02            | 4,22              | 0,23            |                  |                  |                |                |
| C 20x20     | 20               | 20  | 2 | 37,7 | 37,7   | 0,20 | 4,78               | 2,91           | 1,78            | 4,84            | 4,84              | 0,23            |                  |                  |                |                |
| C 20x25     | 25               | 20  | 3 | 69,9 | 117    | 0,20 | 5,98               | 3,59           | 2,39            | 6,02            | 5,13              | 0,24            |                  |                  |                |                |
| C 20x30     | 30               | 26  | 3 | 114  | 187    | 0,20 | 7,18               | 4,20           | 3,00            | 7,10            | 5,13              | 0,25            |                  |                  |                |                |
| C 25x20     | 20               | 25  | 2 | 37,7 | 125    | 0,25 | 5,98               | 3,59           | 2,39            | 6,02            | 6,02              | 0,26            |                  |                  |                |                |
| C 25x25     | 25               | 25  | 2 | 69,9 | 125    | 0,25 | 7,18               | 4,20           | 3,00            | 7,10            | 7,10              | 0,27            |                  |                  |                |                |
| C 25x30     | 30               | 25  | 3 | 114  | 150    | 0,25 | 8,38               | 4,81           | 3,61            | 8,20            | 7,10              | 0,28            |                  |                  |                |                |
| C 30x20     | 20               | 30  | 2 | 37,7 | 180    | 0,30 | 7,18               | 4,20           | 3,00            | 7,10            | 9,00              | 0,29            |                  |                  |                |                |
| C 30x25     | 25               | 30  | 3 | 69,9 | 150    | 0,30 | 8,38               | 4,81           | 3,61            | 8,20            | 8,20              | 0,30            |                  |                  |                |                |
| C 30x30     | 30               | 30  | 3 | 114  | 180    | 0,30 | 9,58               | 5,42           | 4,22            | 9,30            | 9,00              | 0,31            |                  |                  |                |                |
| C 35x20     | 20               | 35  | 2 | 37,7 | 245    | 0,35 | 7,18               | 4,20           | 3,00            | 7,10            | 12,25             | 0,32            |                  |                  |                |                |
| C 35x25     | 25               | 35  | 3 | 69,9 | 210    | 0,35 | 8,38               | 4,81           | 3,61            | 8,20            | 10,50             | 0,33            |                  |                  |                |                |
| C 35x30     | 30               | 35  | 3 | 114  | 210    | 0,35 | 9,58               | 5,42           | 4,22            | 9,30            | 10,50             | 0,34            |                  |                  |                |                |
| C 40x20     | 20               | 40  | 2 | 37,7 | 364    | 0,40 | 7,18               | 4,20           | 3,00            | 7,10            | 16,00             | 0,35            |                  |                  |                |                |
| C 40x25     | 25               | 40  | 3 | 69,9 | 315    | 0,40 | 8,38               | 4,81           | 3,61            | 8,20            | 13,75             | 0,36            |                  |                  |                |                |
| C 40x30     | 30               | 40  | 3 | 114  | 315    | 0,40 | 9,58               | 5,42           | 4,22            | 9,30            | 13,75             | 0,37            |                  |                  |                |                |
| C 45x20     | 20               | 45  | 2 | 37,7 | 473    | 0,45 | 7,18               | 4,20           | 3,00            | 7,10            | 20,25             | 0,38            |                  |                  |                |                |
| C 45x25     | 25               | 45  | 3 | 69,9 | 405    | 0,45 | 8,38               | 4,81           | 3,61            | 8,20            | 16,50             | 0,39            |                  |                  |                |                |
| C 45x30     | 30               | 45  | 3 | 114  | 405    | 0,45 | 9,58               | 5,42           | 4,22            | 9,30            | 16,50             | 0,40            |                  |                  |                |                |
| C 50x20     | 20               | 50  | 2 | 37,7 | 645    | 0,50 | 7,18               | 4,20           | 3,00            | 7,10            | 25,00             | 0,41            |                  |                  |                |                |
| C 50x25     | 25               | 50  | 3 | 69,9 | 560    | 0,50 | 8,38               | 4,81           | 3,61            | 8,20            | 20,25             | 0,42            |                  |                  |                |                |
| C 50x30     | 30               | 50  | 3 | 114  | 560    | 0,50 | 9,58               | 5,42           | 4,22            | 9,30            | 20,25             | 0,43            |                  |                  |                |                |
| C 60x20     | 20               | 60  | 2 | 37,7 | 1080   | 0,60 | 7,18               | 4,20           | 3,00            | 7,10            | 36,00             | 0,44            |                  |                  |                |                |
| C 60x25     | 25               | 60  | 3 | 69,9 | 945    | 0,60 | 8,38               | 4,81           | 3,61            | 8,20            | 28,12             | 0,45            |                  |                  |                |                |
| C 60x30     | 30               | 60  | 3 | 114  | 945    | 0,60 | 9,58               | 5,42           | 4,22            | 9,30            | 28,12             | 0,46            |                  |                  |                |                |
| C 70x20     | 20               | 70  | 2 | 37,7 | 1764   | 0,70 | 7,18               | 4,20           | 3,00            | 7,10            | 49,00             | 0,47            |                  |                  |                |                |
| C 70x25     | 25               | 70  | 3 | 69,9 | 1512   | 0,70 | 8,38               | 4,81           | 3,61            | 8,20            | 38,50             | 0,48            |                  |                  |                |                |
| C 70x30     | 30               | 70  | 3 | 114  | 1512   | 0,70 | 9,58               | 5,42           | 4,22            | 9,30            | 38,50             | 0,49            |                  |                  |                |                |
| C 80x20     | 20               | 80  | 2 | 37,7 | 2800   | 0,80 | 7,18               | 4,20           | 3,00            | 7,10            | 64,00             | 0,50            |                  |                  |                |                |
| C 80x25     | 25               | 80  | 3 | 69,9 | 2415   | 0,80 | 8,38               | 4,81           | 3,61            | 8,20            | 49,00             | 0,51            |                  |                  |                |                |
| C 80x30     | 30               | 80  | 3 | 114  | 2415   | 0,80 | 9,58               | 5,42           | 4,22            | 9,30            | 49,00             | 0,52            |                  |                  |                |                |
| C 90x20     | 20               | 90  | 2 | 37,7 | 3969   | 0,90 | 7,18               | 4,20           | 3,00            | 7,10            | 81,00             | 0,53            |                  |                  |                |                |
| C 90x25     | 25               | 90  | 3 | 69,9 | 3420   | 0,90 | 8,38               | 4,81           | 3,61            | 8,20            | 60,25             | 0,54            |                  |                  |                |                |
| C 90x30     | 30               | 90  | 3 | 114  | 3420   | 0,90 | 9,58               | 5,42           | 4,22            | 9,30            | 60,25             | 0,55            |                  |                  |                |                |
| C 100x20    | 20               | 100 | 2 | 37,7 | 5625   | 1,00 | 7,18               | 4,20           | 3,00            | 7,10            | 100,00            | 0,56            |                  |                  |                |                |
| C 100x25    | 25               | 100 | 3 | 69,9 | 4830   | 1,00 | 8,38               | 4,81           | 3,61            | 8,20            | 75,00             | 0,57            |                  |                  |                |                |
| C 100x30    | 30               | 100 | 3 | 114  | 4830   | 1,00 | 9,58               | 5,42           | 4,22            | 9,30            | 75,00             | 0,58            |                  |                  |                |                |
| C 120x20    | 20               | 120 | 2 | 37,7 | 10080  | 1,20 | 7,18               | 4,20           | 3,00            | 7,10            | 144,00            | 0,59            |                  |                  |                |                |
| C 120x25    | 25               | 120 | 3 | 69,9 | 8820   | 1,20 | 8,38               | 4,81           | 3,61            | 8,20            | 105,00            | 0,60            |                  |                  |                |                |
| C 120x30    | 30               | 120 | 3 | 114  | 8820   | 1,20 | 9,58               | 5,42           | 4,22            | 9,30            | 105,00            | 0,61            |                  |                  |                |                |
| C 140x20    | 20               | 140 | 2 | 37,7 | 17640  | 1,40 | 7,18               | 4,20           | 3,00            | 7,10            | 196,00            | 0,62            |                  |                  |                |                |
| C 140x25    | 25               | 140 | 3 | 69,9 | 15120  | 1,40 | 8,38               | 4,81           | 3,61            | 8,20            | 147,00            | 0,63            |                  |                  |                |                |
| C 140x30    | 30               | 140 | 3 | 114  | 15120  | 1,40 | 9,58               | 5,42           | 4,22            | 9,30            | 147,00            | 0,64            |                  |                  |                |                |
| C 160x20    | 20               | 160 | 2 | 37,7 | 28224  | 1,60 | 7,18               | 4,20           | 3,00            | 7,10            | 256,00            | 0,65            |                  |                  |                |                |
| C 160x25    | 25               | 160 | 3 | 69,9 | 24150  | 1,60 | 8,38               | 4,81           | 3,61            | 8,20            | 196,00            | 0,66            |                  |                  |                |                |
| C 160x30    | 30               | 160 | 3 | 114  | 24150  | 1,60 | 9,58               | 5,42           | 4,22            | 9,30            | 196,00            | 0,67            |                  |                  |                |                |
| C 180x20    | 20               | 180 | 2 | 37,7 | 39600  | 1,80 | 7,18               | 4,20           | 3,00            | 7,10            | 324,00            | 0,68            |                  |                  |                |                |
| C 180x25    | 25               | 180 | 3 | 69,9 | 34200  | 1,80 | 8,38               | 4,81           | 3,61            | 8,20            | 245,00            | 0,69            |                  |                  |                |                |
| C 180x30    | 30               | 180 | 3 | 114  | 34200  | 1,80 | 9,58               | 5,42           | 4,22            | 9,30            | 245,00            | 0,70            |                  |                  |                |                |
| C 200x20    | 20               | 200 | 2 | 37,7 | 56700  | 2,00 | 7,18               | 4,20           | 3,00            | 7,10            | 400,00            | 0,71            |                  |                  |                |                |
| C 200x25    | 25               | 200 | 3 | 69,9 | 48300  | 2,00 | 8,38               | 4,81           | 3,61            | 8,20            | 300,00            | 0,72            |                  |                  |                |                |
| C 200x30    | 30               | 200 | 3 | 114  | 48300  | 2,00 | 9,58               | 5,42           | 4,22            | 9,30            | 300,00            | 0,73            |                  |                  |                |                |
| C 220x20    | 20               | 220 | 2 | 37,7 | 77424  | 2,20 | 7,18               | 4,20           | 3,00            | 7,10            | 484,00            | 0,74            |                  |                  |                |                |
| C 220x25    | 25               | 220 | 3 | 69,9 | 67200  | 2,20 | 8,38               | 4,81           | 3,61            | 8,20            | 363,00            | 0,75            |                  |                  |                |                |
| C 220x30    | 30               | 220 | 3 | 114  | 67200  | 2,20 | 9,58               | 5,42           | 4,22            | 9,30            | 363,00            | 0,76            |                  |                  |                |                |
| C 240x20    | 20               | 240 | 2 | 37,7 | 100800 | 2,40 | 7,18               | 4,20           | 3,00            | 7,10            | 576,00            | 0,77            |                  |                  |                |                |
| C 240x25    | 25               | 240 | 3 | 69,9 | 88200  | 2,40 | 8,38               | 4,81           | 3,61            | 8,20            | 441,00            | 0,78            |                  |                  |                |                |
| C 240x30    | 30               | 240 | 3 | 114  | 88200  | 2,40 | 9,58               | 5,42           | 4,22            | 9,30            | 441,00            | 0,79            |                  |                  |                |                |
| C 260x20    | 20               | 260 | 2 | 37,7 | 138240 | 2,60 | 7,18               | 4,20           | 3,00            | 7,10            | 676,00            | 0,80            |                  |                  |                |                |
| C 260x25    | 25               | 260 | 3 | 69,9 | 120600 | 2,60 | 8,38               | 4,81           | 3,61            | 8,20            | 504,00            | 0,81            |                  |                  |                |                |
| C 260x30    | 30               | 260 | 3 | 114  | 120600 | 2,60 | 9,58               | 5,42           | 4,22            | 9,30            | 504,00            | 0,82            |                  |                  |                |                |
| C 280x20    | 20               | 280 | 2 | 37,7 | 180624 | 2,80 | 7,18               | 4,20           | 3,00            | 7,10            | 784,00            | 0,83            |                  |                  |                |                |
| C 280x25    | 25               | 280 | 3 | 69,9 | 156600 | 2,80 | 8,38               | 4,81           | 3,61            | 8,20            | 588,00            | 0,84            |                  |                  |                |                |
| C 280x30    | 30               | 280 | 3 | 114  | 156600 | 2,80 | 9,58               | 5,42           | 4,22            | 9,30            | 588,00            | 0,85            |                  |                  |                |                |
| C 300x20    | 20               | 300 | 2 | 37,7 | 242400 | 3,00 | 7,18               | 4,20           | 3,00            | 7,10            | 900,00            | 0,86            |                  |                  |                |                |
| C 300x25    | 25               | 300 | 3 | 69,9 | 210600 | 3,00 | 8,38               | 4,81           | 3,61            | 8,20            | 675,00            | 0,87            |                  |                  |                |                |
| C 300x30    | 30               | 300 | 3 | 114  | 210600 | 3,00 | 9,58               | 5,42           | 4,22            | 9,30            | 675,00            | 0,88            |                  |                  |                |                |
| C 320x20    | 20               | 320 | 2 | 37,7 | 322560 | 3,20 | 7,18               | 4,20           | 3,00            | 7,10            | 1024,00           | 0,89            |                  |                  |                |                |
| C 320x25    | 25               | 320 | 3 | 69,9 | 280200 | 3,20 | 8,38               | 4,81           | 3,61            | 8,20            | 756,00            | 0,90            |                  |                  |                |                |
| C 320x30    | 30               | 320 | 3 | 114  | 280200 | 3,20 | 9,58               | 5,42           | 4,22            | 9,30            | 756,00            | 0,91            |                  |                  |                |                |
| C 340x20    | 20               | 340 | 2 | 37,7 | 424320 | 3,40 | 7,18               | 4,20           | 3,00            | 7,10            | 1156,00           | 0,92            |                  |                  |                |                |
| C 340x25    | 25               | 340 | 3 | 69,9 | 367200 | 3,40 | 8,38               | 4,81           | 3,61            | 8,20            | 864,00            | 0,93            |                  |                  |                |                |
| C 340x30    | 30               | 340 | 3 | 114  | 367200 | 3,40 | 9,58               | 5,42           | 4,22            | 9,30            | 864,00            | 0,94            |                  |                  |                |                |
| C 360x20    | 20               | 360 | 2 | 37,7 | 540720 | 3,60 | 7,18               | 4,20           | 3,00            | 7,10            | 1296,00           | 0,95            |                  |                  |                |                |

## ANEXO K: COMBINACIONES DE CARGA PARA EL ANÁLISIS DE UNA ESTRUCTURA SEGÚN LA NORMA NEC – SE - CG

### **3.4. Combinaciones de cargas**

---

#### **3.4.1. Símbolos y notación**

Conforme a lo expuesto en la sección [1.3](#), se utilizan los siguientes símbolos en la expresión de las combinaciones de cargas que deberán tomarse en cuenta:

|                      |                                  |
|----------------------|----------------------------------|
| <b>D</b>             | Carga permanente                 |
| <b>E</b>             | Carga de sismo                   |
| <b>L</b>             | Sobrecarga (carga viva)          |
| <b>L<sub>r</sub></b> | Sobrecarga cubierta (carga viva) |
| <b>S</b>             | Carga de granizo                 |
| <b>W</b>             | Carga de viento                  |

### 3.4.3. Combinación para el diseño por última resistencia

#### a. Combinaciones básicas

Cuando sea apropiado, se deberá investigar cada estado límite de resistencia. Los efectos más desfavorables, tanto de viento como de sismo, no necesitan ser considerados simultáneamente.

Las estructuras, componentes y cimentaciones, deberán ser diseñadas de tal manera que la resistencia de diseño iguale o exceda los efectos de las cargas incrementadas, de acuerdo a las siguientes combinaciones:

##### Combinación 1

**1.4 D**

##### Combinación 2

**1.2 D + 1.6 L + 0.5max[L<sub>r</sub> ; S ; R]**

##### Combinación 3\*

**1.2 D + 1.6 max[L<sub>r</sub> ; S ; R] + max[L ; 0.5W]**

##### Combinación 4\*

**1.2 D + 1.0 W + L + 0.5 max[L<sub>r</sub> ; S ; R]**

##### Combinación 5\*

**1.2 D + 1.0 E + L + 0.2 S**

##### Combinación 6

**0.9 D + 1.0 W**

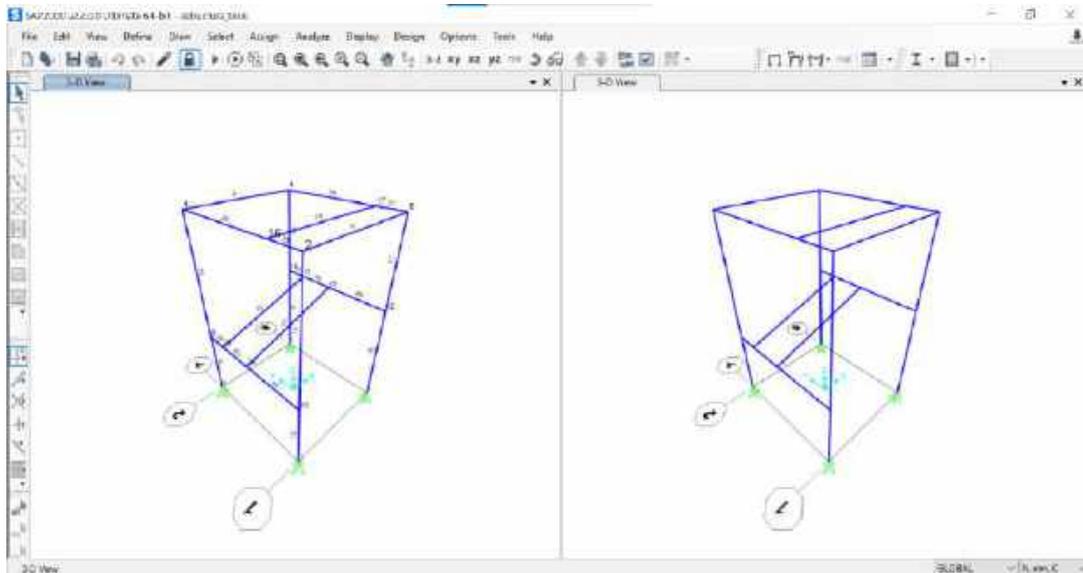
##### Combinación 7

**0.9 D + 1.0 E**

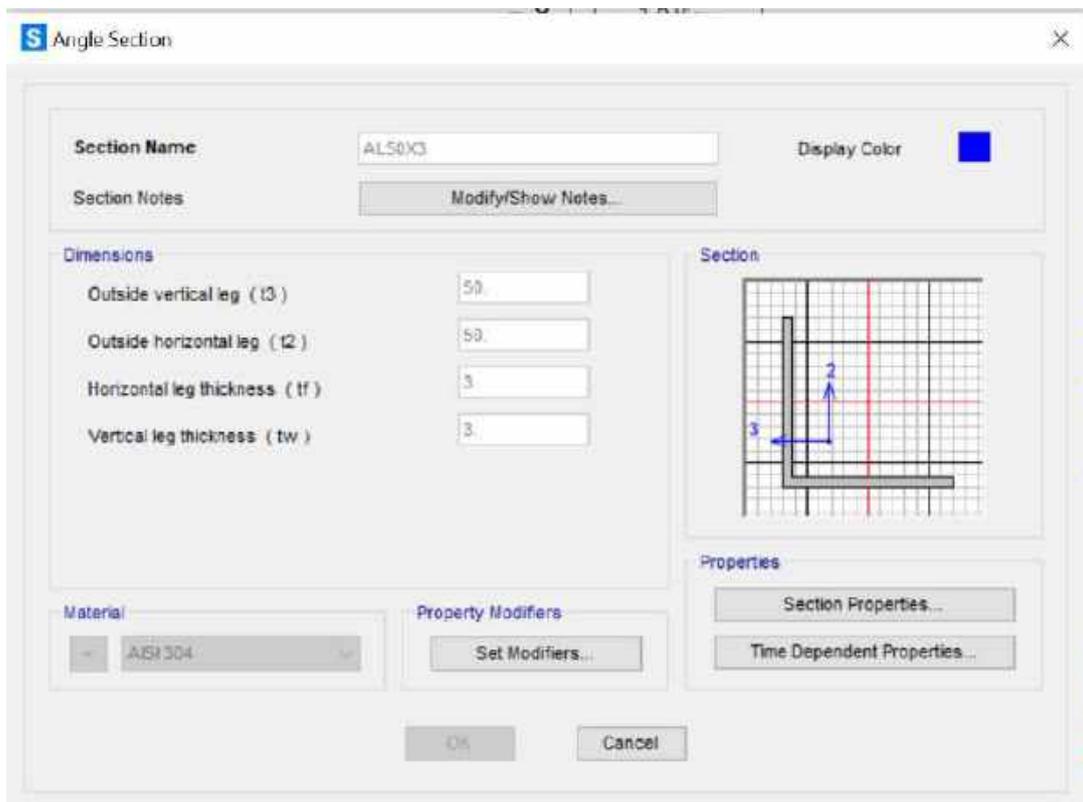
*\*Para las combinaciones 3, 4 y 5: L=0.5 kN/m<sup>2</sup> si L0<=4.8 kN/m<sup>2</sup> (excepto para estacionamientos y espacios de reuniones públicas).*

# ANEXO L: DESARROLLO ANÁLISIS DE RESISTENCIA ESTRUCTURAL DEL BASTIDOR DEL MOLINO PULVERIZADOR EN EL SOFTWARE SAP 2000

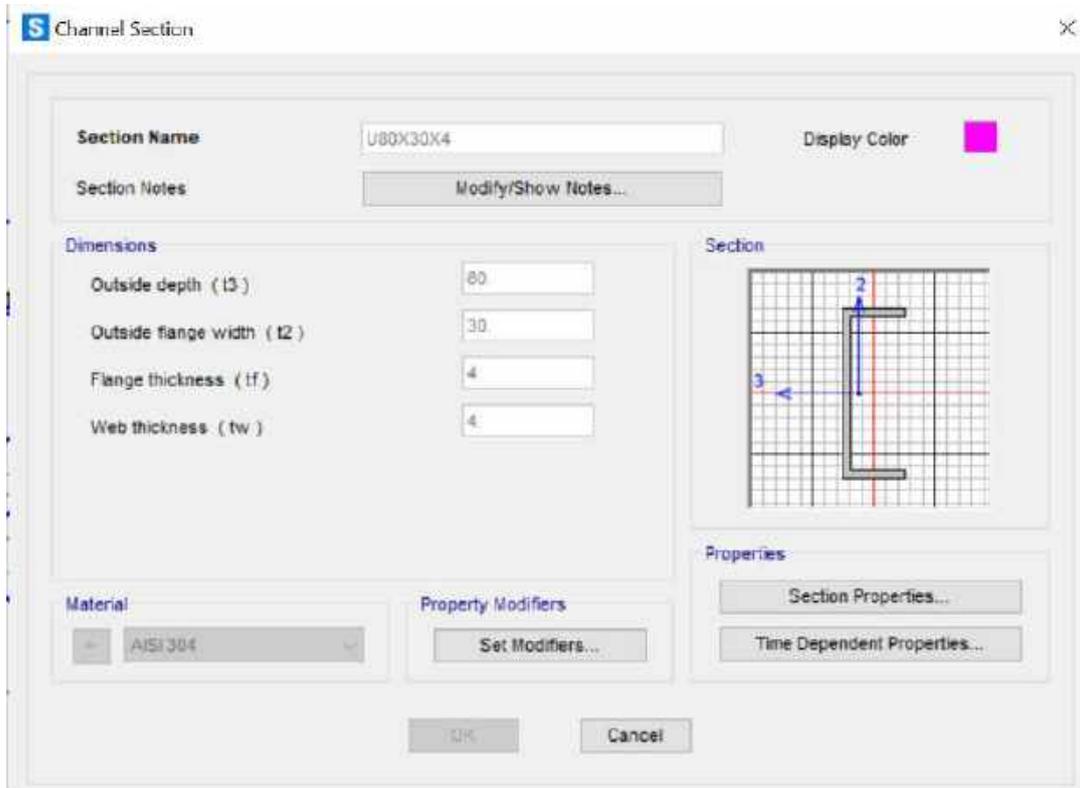
## MODELO SIMPLIFICADO EN FRAMES



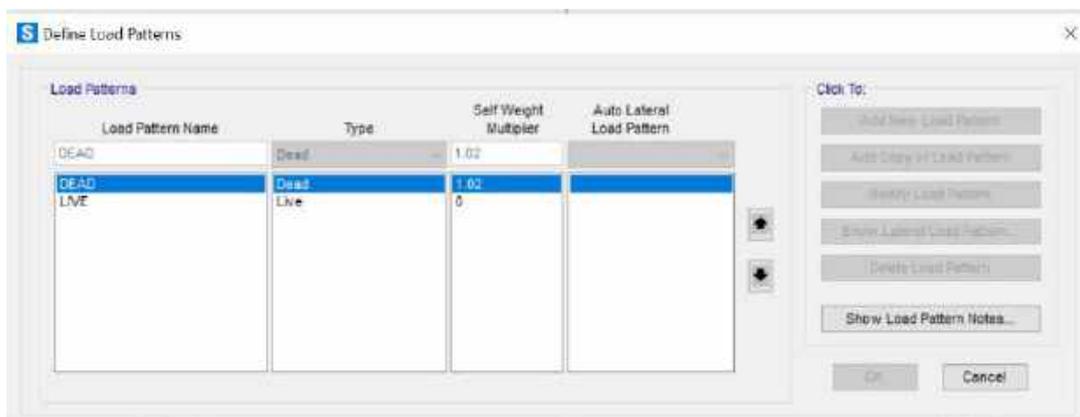
## DIMENSIONES DE LOS PERFILES: PERFIL L



## DIMENSIONES DE LOS PERFILES: PERFIL U



## PATRONES DE CARGA



## COMBINACIONES DE CARGA

**S** Load Combination Data ✕

**Load Combination Name** (User-Generated)

Notes

**Load Combination Type**  ▾

**Options**

**Define Combination of Load Case Results**

| Load Case Name | Load Case Type | Mode | Scale Factor |
|----------------|----------------|------|--------------|
| DEAD           | Linear Static  |      | 1.           |
| DEAD           | Linear Static  |      | 1.           |
| LIVE           | Linear Static  |      | 1.           |

**S** Load Combination Data ✕

**Load Combination Name** (User-Generated)

Notes

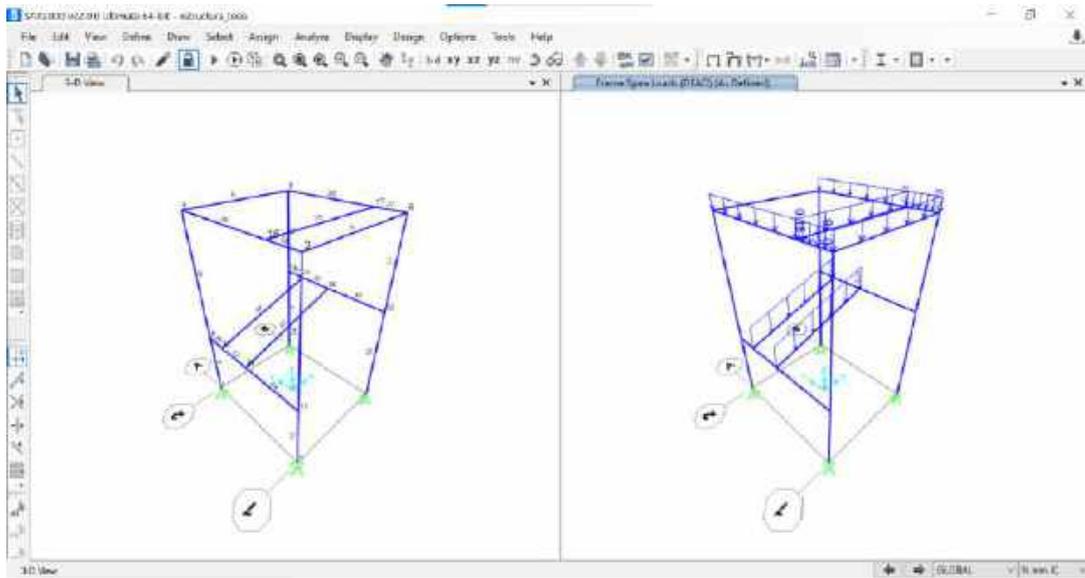
**Load Combination Type**  ▾

**Options**

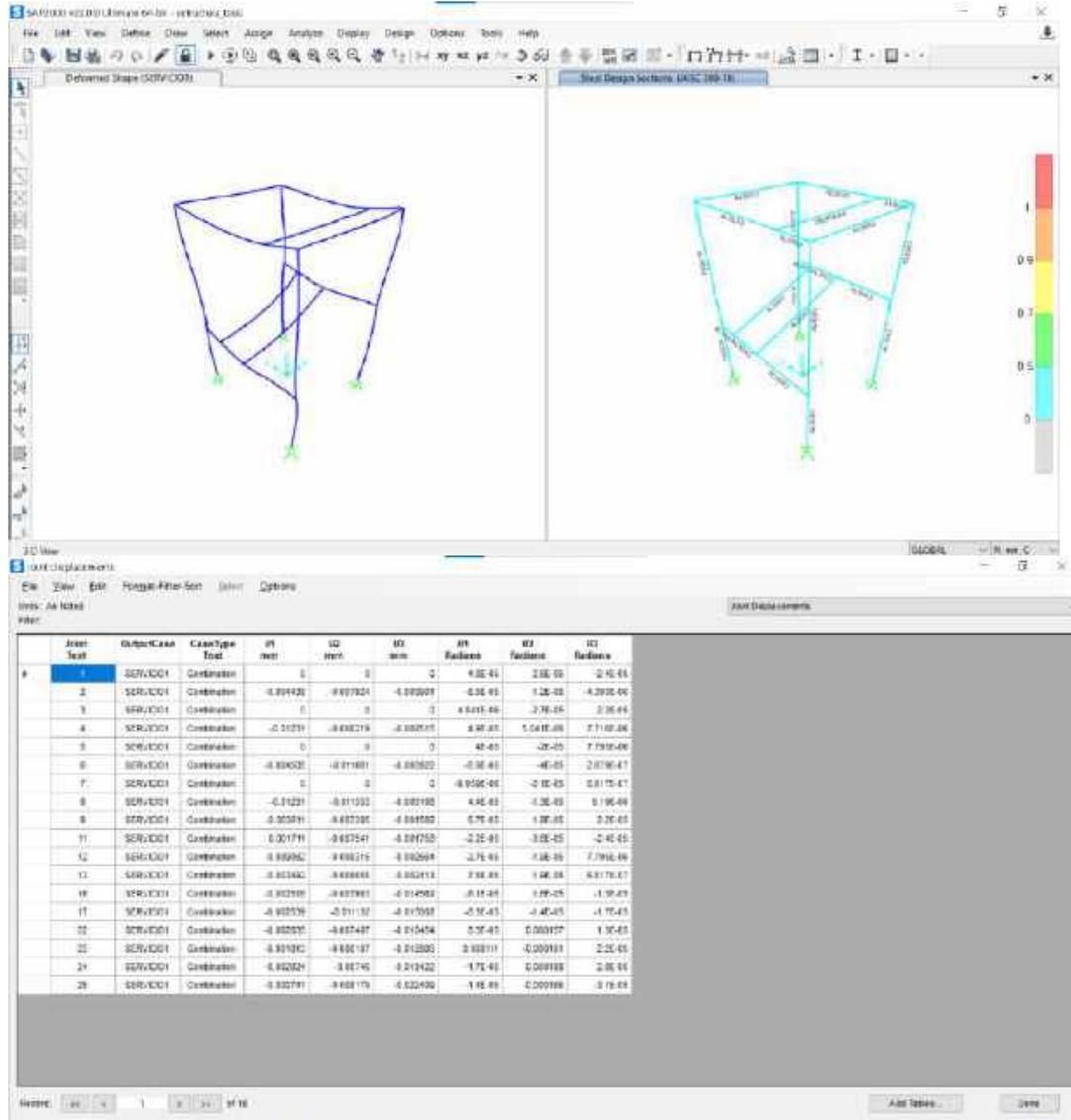
**Define Combination of Load Case Results**

| Load Case Name | Load Case Type | Mode | Scale Factor |
|----------------|----------------|------|--------------|
| DEAD           | Linear Static  |      | 1.2          |
| DEAD           | Linear Static  |      | 1.2          |
| LIVE           | Linear Static  |      | 1.6          |

## CARGAS EN LOS PERFILES

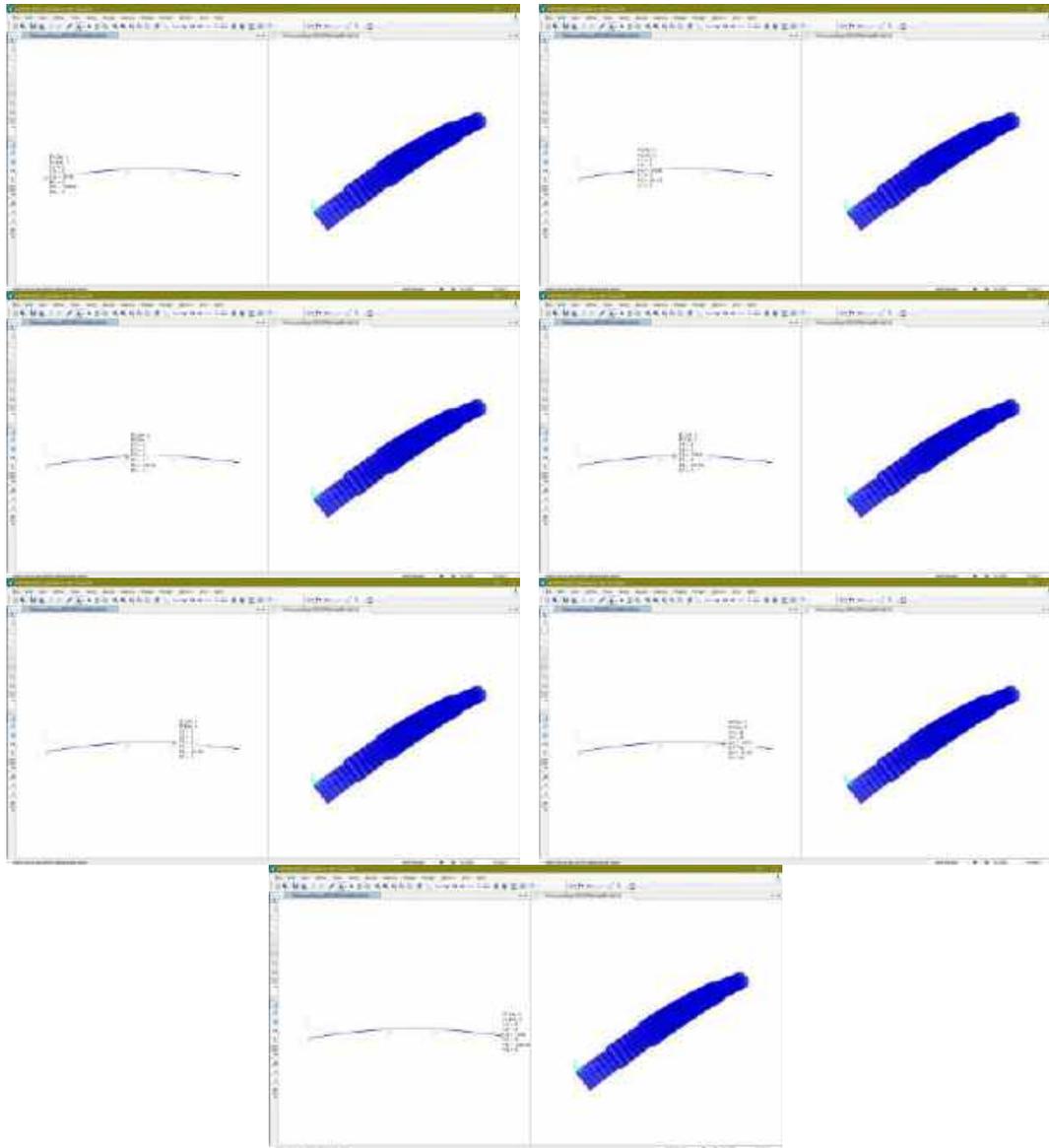


# RESULTADOS DE LA CARGA DE SERVICIO

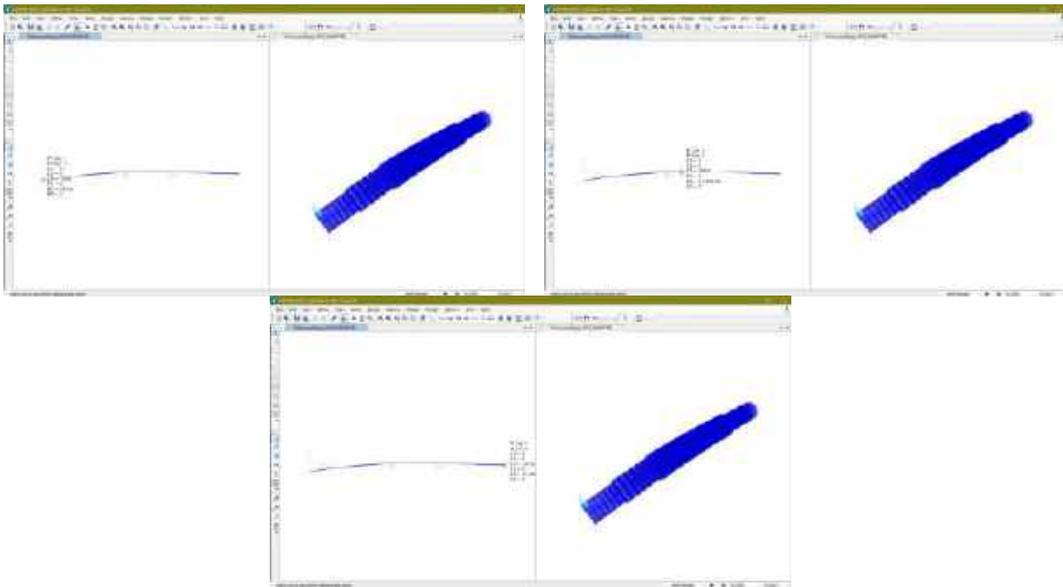


**ANEXO M: DESARROLLO ANÁLISIS DE RESISTENCIA MECÁNICA Y RIGIDEZ DEL ÁRBOL DEL MOLINO PULVERIZADOR EN EL SOFTWARE SAP 2000**

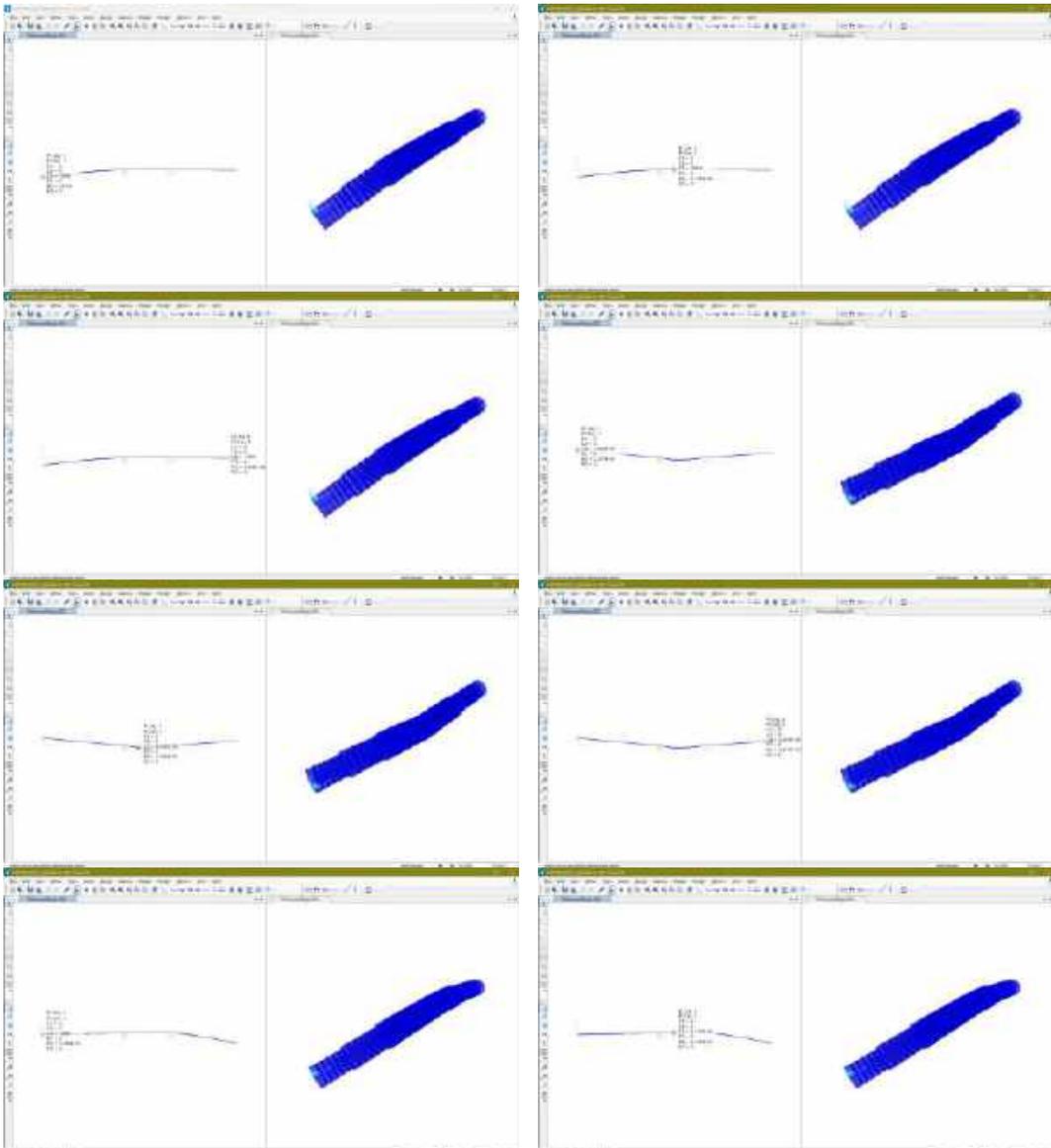
**RESISTENCIA MECÁNICA**

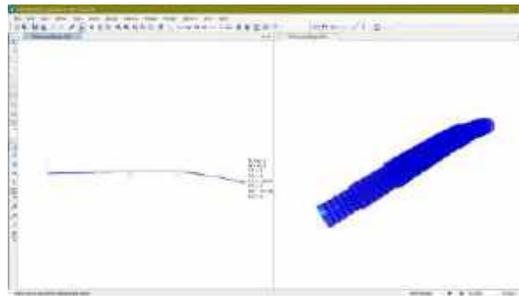


## RAYLEIGH RITZ

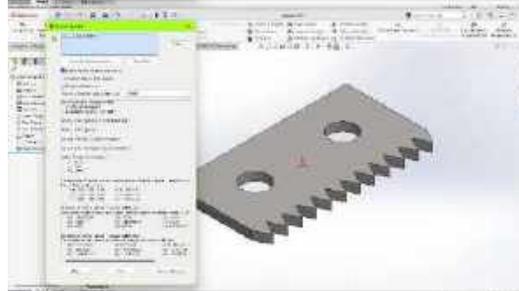
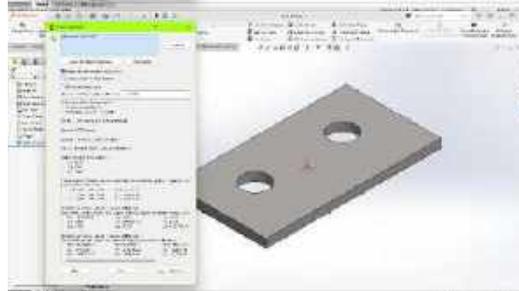
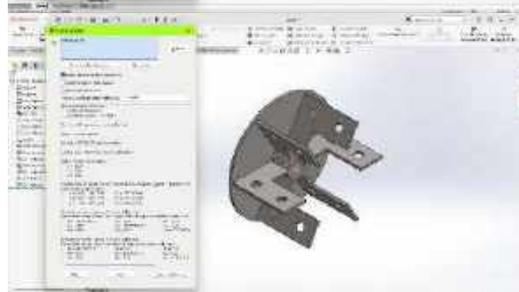
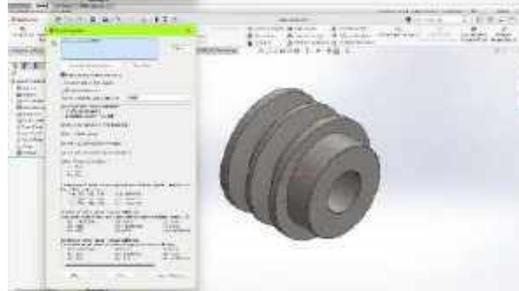
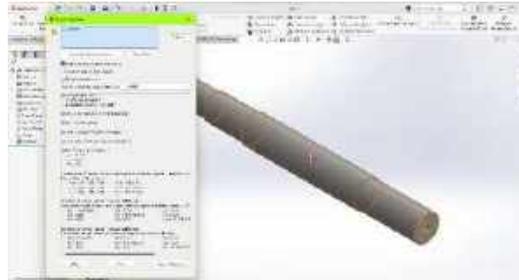


## DUNKERLEY



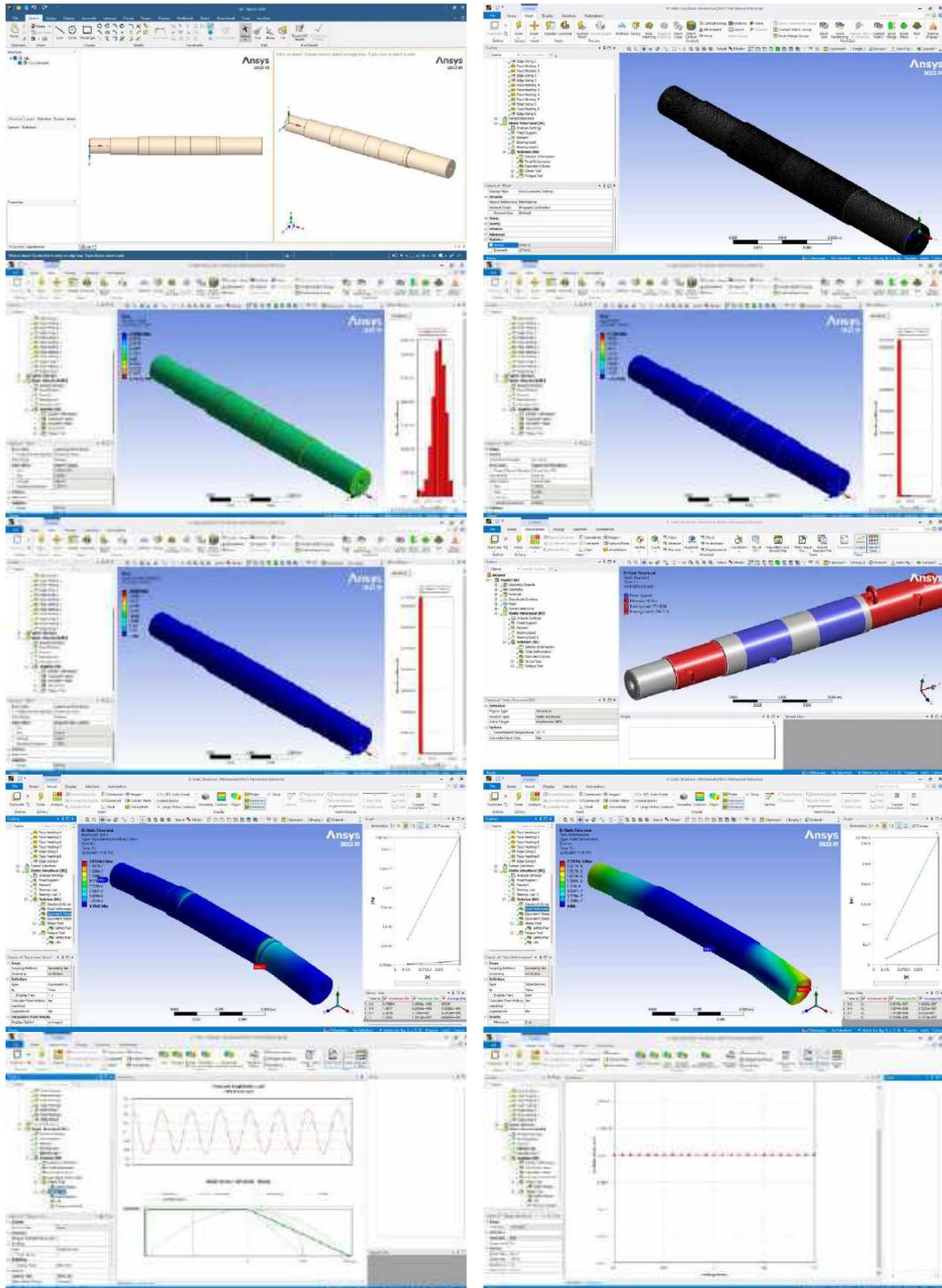


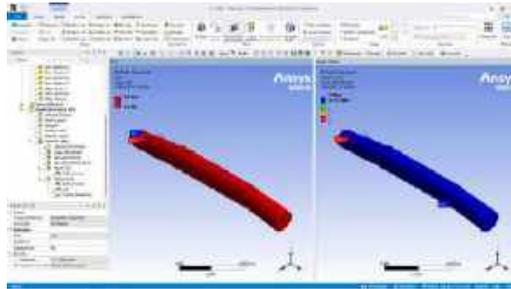
**PROPIEDADES DE MASA**



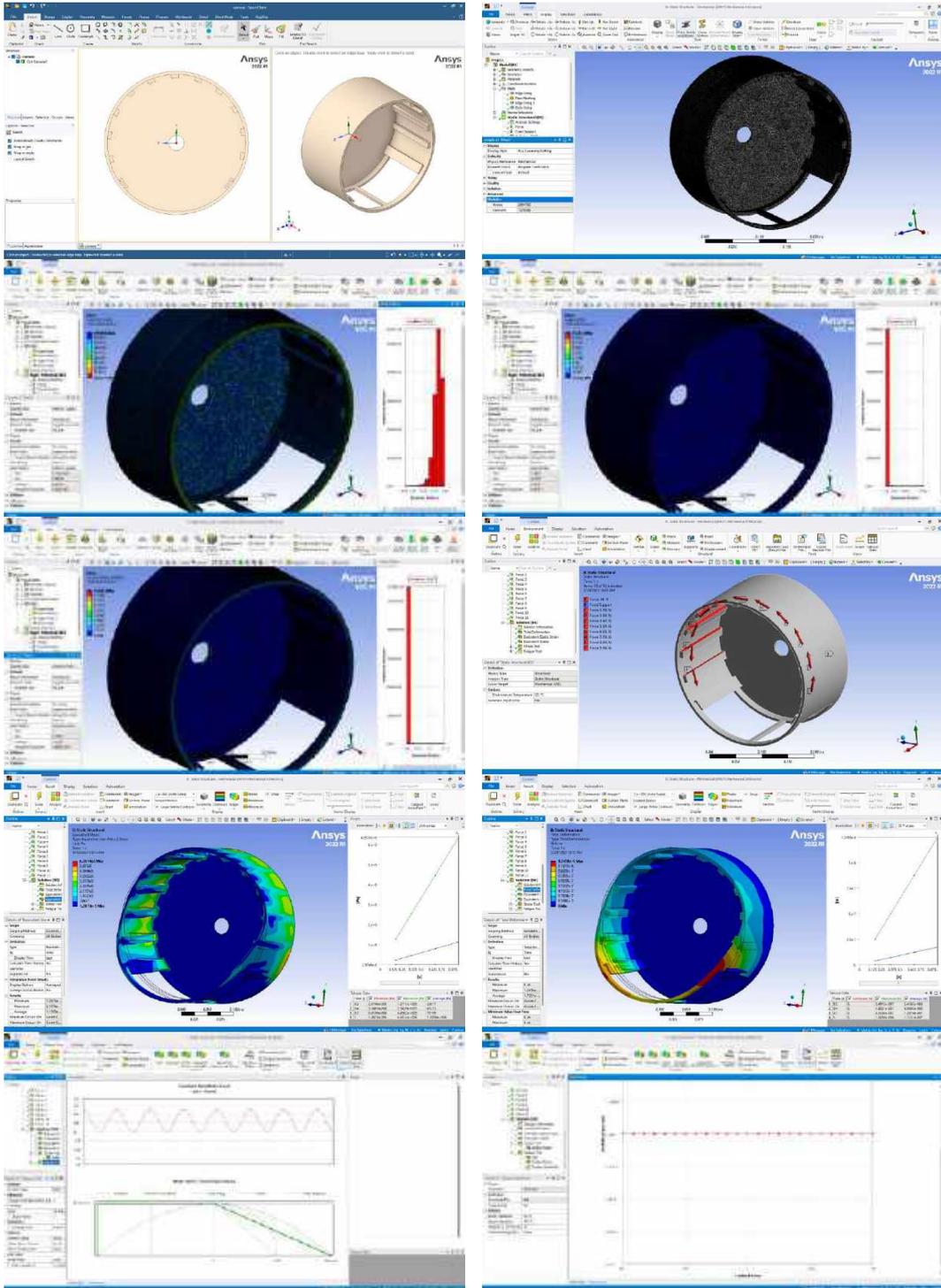
# ANEXO N: DESARROLLO VALIDACIÓN CAE POR ELEMENTOS FINITOS USANDO EL SOFTWARE ANSYS

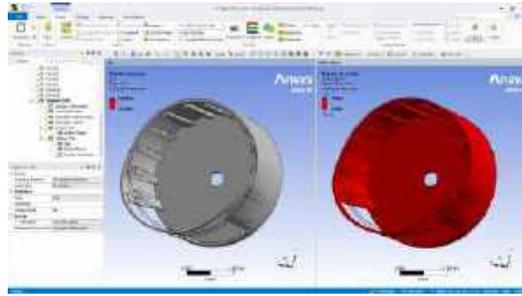
## ÁRBOL DE TRANSMISIÓN



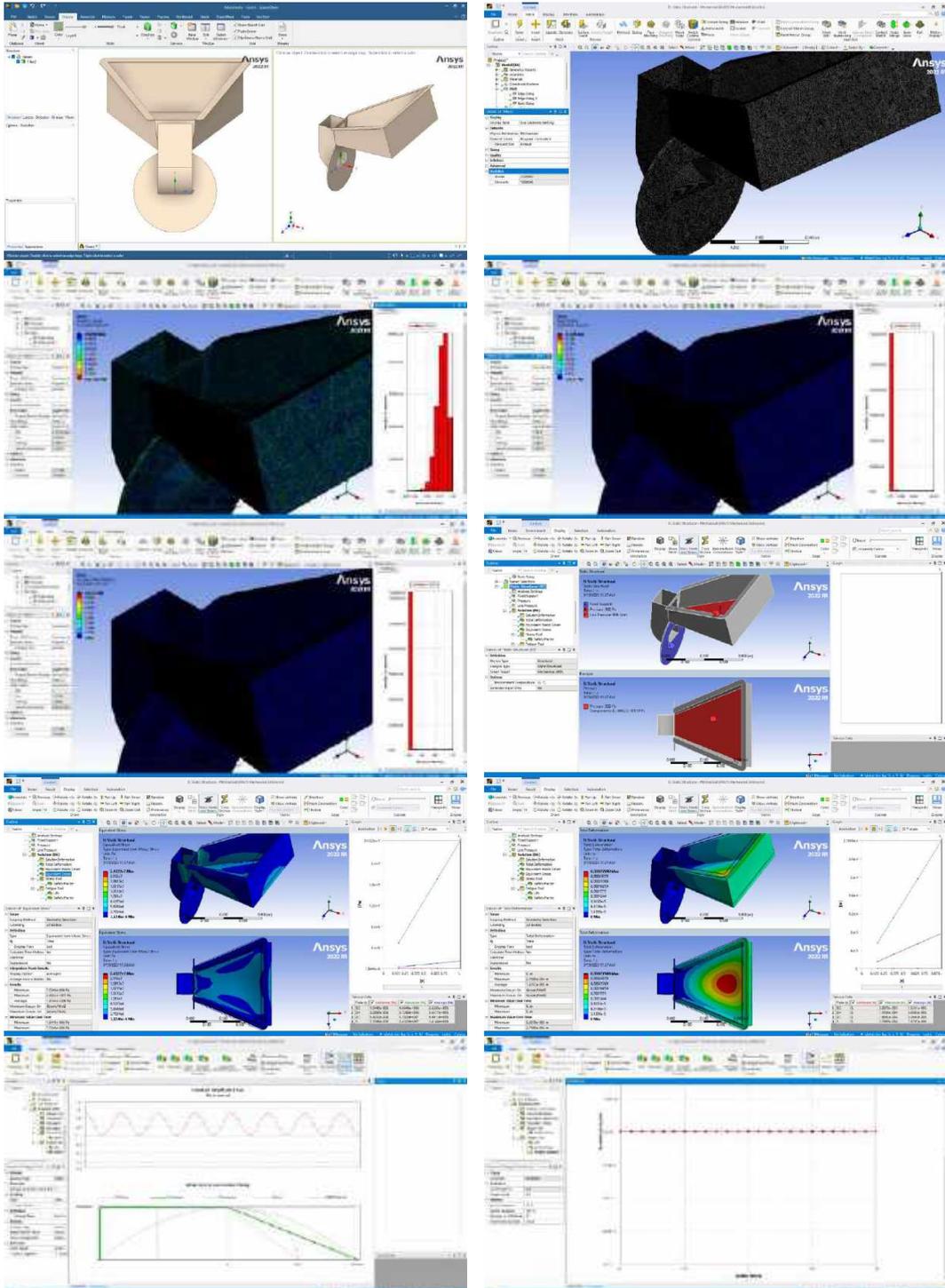


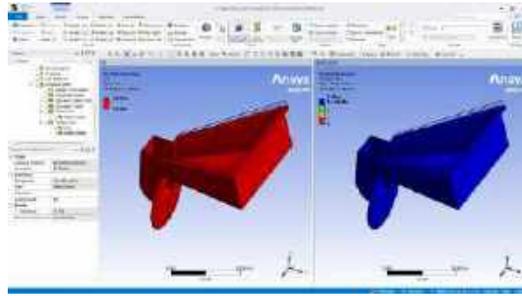
## CÁMARA DE PULVERIZACIÓN



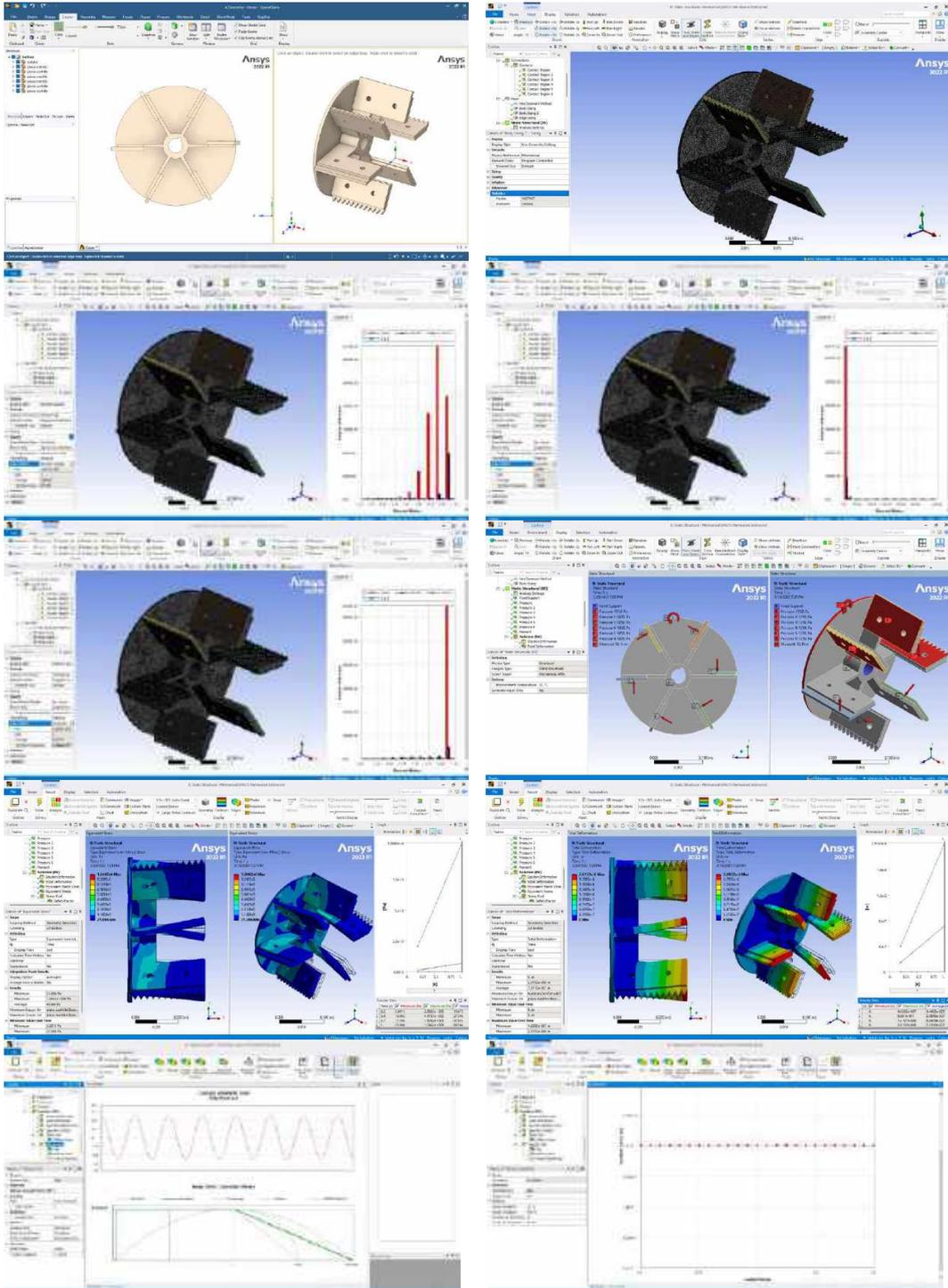


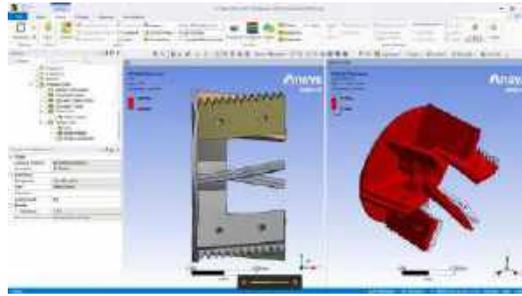
### TOLVA DE ALIMENTACIÓN





# TURBINA





**ANEXO O: REGISTRO FOTOGRÁFICO DEL PROCESO DE CONSTRUCCIÓN DEL  
MOLINO PULVERIZADOR**

**CÁMARA DE PULVERIZACIÓN**



**PLACAS DE IMPACTO**





TOLVA



BASE ESTRUCTURAL



TURBINA





ÁRBOL



CRIBA



ENSAMBLAJE DE COMPONENTES



**ANEXO P: PROTOCOLO DE PRUEBAS DEL MOLINO PULVERIZADOR**

| PROTOCOLO DE PRUEBAS                        |   |  |  |             |
|---|---|--|--|-------------|
|   |   | <b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO<br/>FACULTAD DE MECÁNICA<br/>CARRERA MECÁNICA</b>        |  |             |
| DATOS DE LA PRUEBA                          |   |  |  |             |
| <b>LUGAR DE PRUEBA</b>                      |   |  |  |             |
| <b>FECHA (DD/MM/AA)</b>                     |   |  |  |             |
| <b>MÁQUINA</b>                              |   | Molino Pulverizador  |  |             |
| <b>CONDICIONES CLIMÁTICAS</b>               |   |  |  |             |
| <b>INICIO DE LA PRUEBA (H:min)</b>          |   |  |  |             |
| <b>FINAL DE LA PRUEBA (H:min)</b>           |   |  |  |             |
| <b>TEMPERATURA AMBIENTE (°C)</b>            |   |  |  |             |
| <b>RESPONSABLE DE LA MAQUINARIA (N y A)</b> |   |  |  |             |
| <b>RESPONSABLE DE LA PRUEBA (N y A)</b>     |   |  |  |             |
| CONSIDERACIONES DE LA PRUEBA                |   |  |  |             |
| CÓDIGOS DE EVALUACIÓN                       |   | MÉTODOS DE EVALUACIÓN  |  |             |
| CS (✓)                                      | Cumple Satisfactoriamente: indica que el parámetro que se evalúa funciona correctamente           | INSPECCIÓN VISUAL (IV)   | Se necesita emplear la vista para la evaluación    |             |
|   |   | INSPECCIÓN MANUAL (IM)   | Se requiere usar las manos para la evaluación      |             |
| NC (✗)                                      | No Cumple: Indica que el parámetro que se evalúa no funciona y se debe corregir su funcionamiento | INSPECCIÓN AUDITIVA (IA)   | Se requiere emplear la audición para la evaluación |             |
|   |   | HERRAMIENTA  | Se emplean herramientas para la evaluación         |             |
| DESARROLLO DE LA PRUEBA                     |   |  |  |             |
| SISTEMA ESTRUCTURAL                         |   |  |  |             |
| CÓDIGO                                      | CARACTERÍSTICA  | PARÁMETROS DE EVALUACIÓN   | MÉTODO EMPLEADO                                    | COMENTARIOS |
| CS ( )                                      | ESTABILIDAD   | Verificar que el molino pulverizador se mantenga estable y no presente ningún movimiento de traslación | INSPECCIÓN VISUAL                                  |             |
| NC ( )                                      |   |  |  |             |
| CS ( )                                      | VIBRACIÓN   | Verificar que el molino pulverizador no presente fenómenos vibratorios que afecten al funcionamiento   | INSPECCIÓN VISUAL                                  |             |
| NC ( )                                      |   |  |  |             |
| CS ( )                                      | DEFORMACIÓN   | Verificar que en el soporte estructural del molino pulverizador, no existan deformaciones permanentes  | HERRAMIENTA  |             |
| NC ( )                                      |   |  |  |             |

| TURBINA DE MOLIENDA          |                       |   |                   |             |
|------------------------------|-----------------------|---|-------------------|-------------|
| CÓDIGO                       | CARACTERÍSTICA        | PARÁMETROS DE EVALUACIÓN  | MÉTODO EMPLEADO   | COMENTARIOS |
| CS ( )                       | ESTABILIDAD           | Verificar que la turbina de molienda se mantenga estable dentro de la estructura  | INSPECCIÓN VISUAL |             |
| NC ( )                       |                       |   |                   |             |
| CS ( )                       | MONTAJE Y DESMONTAJE  | Verificar que el montaje y desmontaje de la turbina permita una adecuada sujeción y no genere problemas de ningún tipo    | INSPECCIÓN MANUAL |             |
| NC ( )                       |                       |   |                   |             |
| CS ( )                       | VIBRACIÓN             | La turbina del molino pulverizador no debe presentar ninguna clase de vibración aparente                                  | HERRAMIENTA       |             |
| NC ( )                       |                       |   |                   |             |
| CS ( )                       | VELOCIDAD DE ROTACIÓN | Comprobar que la velocidad de rotación de la turbina, sea la indicada en el diseño, y sea óptima para el tipo de molienda | HERRAMIENTA       |             |
| NC ( )                       |                       |   |                   |             |
| CS ( )                       | HERMETICIDAD          | Observar que los sellos de la turbina no permitan ninguna clase de fuga de material particulado                           | INSPECCIÓN VISUAL |             |
| NC ( )                       |                       |   |                   |             |
| CS ( )                       | CAPACIDAD DE MOLIENDA | medir la capacidad de molienda a carga de trabajo que soporta la cámara de molienda                                       | HERRAMIENTA       |             |
| NC ( )                       |                       |   |                   |             |
| FIRMAS DE RESPONSABILIDAD    |                       |   |                   |             |
|                              |                       |   |                   |             |
| RESPONSABLE DE LA MAQUINARIA |                       | RESPONSABLE DE LA PRUEBA  |                   |             |

## ANEXO Q: MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL MOLINO PULVERIZADOR

### OPERACIÓN

Antes de operar el molino pulverizador es estrictamente necesario que el personal operativo conozca cada una de las características técnicas que posee la maquinaria, las cuales se encuentran debidamente detalladas en la siguiente hoja de datos, estos conocimientos deben estar completamente asimilados antes poder siquiera encender el molino pulverizador, esto con el objeto de salvaguardar la integridad de la máquina y del operario.

|   |   |                                 |                  |  |
|---|---|---------------------------------|------------------|--|
|  | DATASHEET   | No.1 Código<br>132322           | Página. 1/1      |  |
|   |   | EIM-TM-03-<br>2023              |                  |  |
| <b>CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES</b>  |   |                                 |                  |  |
| Función   | El Molino pulverizador tiene como finalidad el pulverizar frutos deshidratados mediante un proceso de molienda por cuchillas y placas de impacto en un rotor, con el cual se elabora polvo a una granulometría específica de aproximadamente 150 a 160 micras, para esto emplea un motor de 3 HP, que trabaja a una velocidad de 1700 RPM y está construido con acero inoxidable AISI 304 de grado alimenticio para asegurar que sea completamente apto para elaborar polvos para el consumo humano bajo los estándares de procesos alimenticios del País |                                 |                  |  |
| <b>ESPECIFICACIONES TÉCNICAS</b>  |   |                                 |                  |  |
| Máquina   | Diámetro de materia prima (mm)  | Diámetro de producto final (en) | capacidad (Kg/h) |  |
| PULVERIZADOR  | 20  | 150-250                         | 30               |  |
| Potencia del motor (hp)   | Velocidad (RPM)   | Espacio de trabajo (mm)         | peso (Kg)        |  |
| 3   | 1700  | 1x1008x610                      | 180              |  |
| <b>TRANSMISIÓN DE POTENCIA</b>  |   |                                 |                  |  |
| correas   |   | polea                           | material         |  |
| aceite SAE 10w para motor PHG B134  |   | Tipo V, 2 canales, PHP          | Fundición Gris   |  |

**Antes del encendido**

Los pasos descritos a continuación se deben seguir de manera minuciosa si se desea operar el molino pulverizador de manera adecuada:

- Antes de poner en marcha el molino pulverizador, es necesario asegurarse que en el espacio circundante de la máquina no existan objetos que puedan generar atascamientos, u objetos grandes que puedan provocar accidentes en el operario debido a la obstrucción de paso.
- Se necesita además comprobar la planicidad de la superficie en la que se encuentra dispuesta nuestra máquina, para poder controlar de mejor manera los fenómenos vibratorios y así poder evitar posibles fallas por desalineamiento.
- Verificar que los cables y terminales eléctricos no presenten ningún tipo de deterioro o señal de mal funcionamiento.
- Verificar que no existan objetos extraños ni material restante de anteriores procesos en la tolva de entrada.
- Respetar los símbolos de seguridad presentes en el equipo.

En caso de no cumplirse cualquiera de los pasos que se nombraron anteriormente, interrumpir la operación de la máquina y comunicar el incidente.

**Operación del Molino Pulverizador**

Este procedimiento se debe realizar cada vez que se necesite emplear el molino pulverizador por lo que es menester del personal técnico tener en cuenta los siguientes pasos.

- Conectar el equipo de molienda a su correspondiente fuente de alimentación de 220 V, luego de esto, no encender hasta pasados los 20 segundos de conexión, esto con la finalidad de prevenir fallas en el motor eléctricos por arranque brusco dentro de su funcionamiento.
- Encender el equipo de molienda y verificar que la rotación en vacío sea correcta, así como el sentido de giro de la turbina.
- Alimentar de manera paulatina con materia prima la tolva de entrada, estableciendo el volumen adecuado de la misma con el dosificador del molino pulverizador
- Luego de que se haya triturado el material requerido es necesario esperar aproximadamente 2 minutos para poder apagar el motor, debido a que así se eliminará cualquier residuo de la molienda, y los componentes mecánicos de la cámara de molienda se acomodarán, de manera que se puede evitar un paro abrupto.

## MANTENIMIENTO

La finalidad de esta sección es mantener de manera adecuada la funcionalidad del molino pulverizador a lo largo de su vida útil, por tanto, es necesario que el personal operativo conozca de manera detallada este plan de mantenimiento y lo lleve a cabo de manera prolija, con el fin de precautelar la seguridad de la máquina a lo largo del tiempo.

### **Función del personal operativo**

Debido a que el plan de mantenimiento debe ser ejecutado por el personal técnico a cargo de la funcionalidad de la máquina, a cada uno de los actores de la empresa, se les ha designado una función dentro del plan, esto con el objetivo de elaborar una división de roles en las labores de mantenimiento y poder realizar esta actividad de manera ordenada y conforme al cronograma favorable para la vida útil de la máquina, esta delegación de funciones se ve reflejada en la siguiente tabla.

| <b>Serial</b> | <b>Puesto de trabajo</b> | <b>Actividad</b>  |
|---------------|--------------------------|---|
| JP            | Jefe de planta           | Es el responsable directo de garantizar los valores de producción, así como el cumplimiento directo del mantenimiento del pulverizador          |
| MEC           | Mecánico                 | Responsable directo del mantenimiento y correcta operación de la maquina durante toda su vida útil, primordialmente de sus elementos mecánicos. |
| ELEC          | Eléctrico                | Vela por el adecuado funcionamiento de la parte eléctrica de la maquina   |
| MECAUX        | Auxiliar de mecánico     | Sirve de ayuda para que el mecánico realice cada una de sus funciones.  |
| ELECAUX       | Auxiliar de eléctrico    | Ayuda al eléctrico en sus funciones de mantenimiento  |

En esta tabla se detallan los actores del plan de mantenimiento, su función dentro de la empresa, su código dentro del plan de mantenimiento, así como la actividad que se requiere de ellos para poder realizar el mantenimiento.

## Plan de Mantenimiento

Con estos roles, se elabora un plan de mantenimiento preventivo, el cual deberá ser ejecutado por todos los actores de la empresa, este plan de mantenimiento divide las actividades a realizar por fechas de atención, teniéndose la distinción de actividades diarias, mensuales y anuales y detalla el responsable de cada una de las acciones que se deben realizar en estos rangos de frecuencia.

|   |  |   |                   |            |
|---|--|---|-------------------|------------|
|  | PLAN DE<br>MANTENIMIENTO<br>PULVERIZADOR | <b>Codificaci<br/>n</b>   | EIM-<br>PM        | Página 1-1 |
| <b>Recomendaciones</b>  |  | Realizar de manera minuciosa cada una de las actividades aquí citadas para garantizar el correcto funcionamiento del pulverizador |                   |            |
| <b>Orden diaria de mantenimiento</b>  |  |   |                   |            |
| <b>Actividad programada</b>   |  |   | <b>Personal</b>   |            |
| Inspección visual del estado general de la máquina                                |  |   | JP- MEC           |            |
| lubricación de los elementos  |  |   | MECAUX            |            |
| <b>Orden mensual de mantenimiento</b>   |  |   |                   |            |
| <b>Actividad programada</b>   |  |   | <b>Personal</b>   |            |
| Ajuste y verificación de los elementos de fijación                                |  |   | MEC               |            |
| Verificación de alineación de elementos de transmisión                            |  |   | MEC Y MECAUX      |            |
| Pruebas de estabilidad y arranque del motor eléctrico                             |  |   | ELEC Y<br>ELECAUX |            |
| Inspección del estado de los elementos flexibles                                  |  |   | MEC Y MECAUX      |            |
| <b>Orden anual de mantenimiento</b>   |  |   |                   |            |
| <b>Actividad programada</b>   |  |   | <b>Personal</b>   |            |
| Reemplazo de elementos de sujeción  |  |   | MEC Y MECAUX      |            |
| Relleno de soldaduras defectuosos   |  |   | MEC Y MECAUX      |            |
| Limpieza con ácido de Acero inoxidable  |  |   | MEC Y MECAUX      |            |
| Observaciones   |  |   |                   |            |

Si el plan de mantenimiento es ejecutado de manera adecuada, se garantiza que el molino pulverizador de productos deshidratados se desempeñará de manera normal a lo largo de toda su vida útil, caso contrario, las fallas debidas a la falta de cuidado o mala praxis no son responsabilidad del proceso de diseño ni del proceso de manufactura, sino del actuante en tales imprevistos.

## **ANEXO R: MANUAL DE SEGURIDAD**

### **MANUAL DE SEGURIDAD**

El siguiente manual tiene como objetivo precautelar la seguridad del operario del molino pulverizador de productos deshidratados, cada una de las consideraciones que se presentan a continuación, son recopilaciones de las recomendaciones que otorgan los fabricantes de máquinas rotativas, así como el compendio de varias vivencias personales dentro del entorno de desempeño de este tipo de máquinas, se recomienda de manera efusiva, que se tomen en cuenta todas y cada una de ellas para poder garantizar un correcto desenvolvimiento de las labores del molino y sus operarios.

### **Advertencias de funcionamiento**

Las siguientes son advertencias a tomar en cuenta para poder hacer funcionar el molino pulverizador, son peligros adyacentes a los procesos de molienda que son fácilmente evitables bajo el procedimiento adecuado, y deben ser de estricto conocimiento del personal operativo.

- Lectura adecuada del manual de seguridad y sus instrucciones, así como el conocimiento previo de cada mantenimiento requerido y detallado de la máquina, incluyendo periodos, herramientas y posibles fallas.
- Correcta utilización de máquinas y herramientas requeridas tanto para la puesta a punto como para el mantenimiento preventivo o correctivo.
- Notar, comprender y asimilar la simbología adjunta a la máquina, entender su nomenclatura y obedecer sus indicaciones de manera prolija.
- Realizar un correcto régimen de lubricación en los elementos rotativos detallados a continuación en el tiempo detallado por los protocolos de mantenimiento debido a que esto facilitará la seguridad de los elementos rotativos.
- Antes de encender la máquina, comprobar que todos los elementos rotativos puedan girar libremente, y no haya ningún objeto que impida su correcta rotación, poniendo especial énfasis en la turbina de molienda.

### **Precauciones de Funcionamiento**

Las siguientes son precauciones que debe tener el operario acerca del funcionamiento del molino pulverizador, son acciones que debe realizar durante cada proceso de molienda que

favorecerán tanto a la productividad, como a la seguridad del propio trabajador, y deben estar en estricto conocimiento de este.

- El pulverizador de frutos deshidratados únicamente puede ser utilizado para ese fin, queda terminantemente prohibido su uso para otros productos o elementos debido a que esto puede afectar la integridad del diseño para el que fue creado el molino pulverizador.
- Observar de manera visual el estado de la máquina, sus posibles desajustes, objetos intrusos, o posibles malas ubicaciones antes de poner a funcionar la máquina
- Verificar de manera regular el sobrecalentamiento en los elementos, especialmente en los elementos motrices, y soportes de elementos motrices.
- Verificar que la máquina y sus alrededores se encuentren ordenados y limpios, evitando objetos que se encuentren adyacentes a la misma y puedan llegar a afectar su funcionamiento adecuado.
- Previo a un posible mantenimiento o revisión eléctrica es necesario verificar que el circuito de la máquina se encuentre completamente desenergizado con el fin de evitar posibles lesiones por quemadura eléctrica o debida a alimentaciones a 220 V

### **Precauciones de Funcionamiento Eléctrico**

Las siguientes son precauciones que surgen del riesgo probable que implica una conexión eléctrica a 220 V, y se detallan acciones de prevención que debe realizar el operario para salvaguardar su integridad y la integridad de los componentes eléctricos del molino pulverizador, es estrictamente necesario que todos los operarios conozcan y lleven a cabo estas recomendaciones

- De manera diaria, verificar las conexiones cableadas en el tablero general.
- Antes de encender el pulverizador verificar voltajes salientes dentro de la fuente de alimentación y transformadores eléctricos.
- No colocar elementos magnéticos cerca de los elementos eléctricos del pulverizador, ni sus cercanías.
- Nunca operar la máquina con las manos o cualquier parte del cuerpo mojada o con una humedad considerable.
- Prevenir y evitar el contacto directo de cualquier tipo de fluido con el circuito eléctrico del molino pulverizador.

Respetar las señaléticas de riesgo eléctrico presentes en la máquina para poder evitar así quemaduras y lesiones.

## ANEXO S: PLANOS

La codificación de los planos sigue la siguiente estructura:

Código: Facultad de Mecánica – Carrera Mecánica – Área Diseño – Molino Pulverizador de Productos Deshidratados – Plano (Ensamble/Pieza/Especificación) (N° Grupo) – Plano N° - Año

| <b>Códigos</b>              | <b>Hoj<br/>a</b> | <b>Descripción</b>   |
|-----------------------------|------------------|--|
| FM-CM-AD-MPPD-PE01-P01-2023 | A2               | Plano de Ensamblaje General – Vistas y Cotas – Lista de Sub-ensamblajes              |
| FM-CM-AD-MPPD-PE01-P02-2023 | A2               | Plano de Ensamblaje General – Explosionado – Lista de partes                         |
| FM-CM-AD-MPPD-PE02-P01-2023 | A2               | Plano de Ensamblaje BASTIDOR – Vistas y Cotas – Lista de Partes – Notas de Soldadura |
| FM-CM-AD-MPPD-PP02-P02-2023 | A4               | Plano de Pieza: Ángulo (ba1)   |
| FM-CM-AD-MPPD-PP02-P03-2023 | A4               | Plano de Pieza: Ángulo (ba2)   |
| FM-CM-AD-MPPD-PP02-P04-2023 | A4               | Plano de Pieza: Ángulo (ba3)   |
| FM-CM-AD-MPPD-PP02-P05-2023 | A4               | Plano de Pieza: Ángulo (ba4)   |
| FM-CM-AD-MPPD-PP02-P06-2023 | A4               | Plano de Pieza: Ángulo (ba5)   |
| FM-CM-AD-MPPD-PP02-P07-2023 | A4               | Plano de Pieza: Ángulo (ba6)   |
| FM-CM-AD-MPPD-PP02-P08-2023 | A4               | Plano de Pieza: Perfil U (ba7)   |
| FM-CM-AD-MPPD-PP02-P09-2023 | A4               | Plano de Pieza: Ángulo (ba8)   |
| FM-CM-AD-MPPD-PP02-P10-2023 | A4               | Plano de Pieza: Ángulo (ba9)   |
| FM-CM-AD-MPPD-PE03-P01-2023 | A3               | Plano de Ensamblaje TRANSMISIÓN – Vistas y Cotas – Lista de Partes – Notas           |
| FM-CM-AD-MPPD-PE03-P02-2023 | A4               | Plano de Pieza: Motor W22  |
| FM-CM-AD-MPPD-PE03-P03-2023 | A4               | Plano de Pieza: Polea Conductora   |
| FM-CM-AD-MPPD-PE03-P04-2023 | A4               | Plano de Pieza: Polea Conducida  |
| FM-CM-AD-MPPD-PE03-P05-2023 | A4               | Plano de Pieza: Árbol de Entrada   |
| FM-CM-AD-MPPD-PE03-P06-2023 | A4               | Plano de Pieza: Árbol de Salida  |
| FM-CM-AD-MPPD-PE03-P07-2023 | A4               | Plano de Pieza: Protector de Banda   |

|                             |    |   |
|-----------------------------|----|---|
| FM-CM-AD-MPPD-PE04-P01-2023 | A2 | Plano de Ensamblaje CÁMARA PULVERIZADO – Vistas y Cotas – Lista de Partes – Notas   |
| FM-CM-AD-MPPD-PE04-P02-2023 | A4 | Plano de Pieza: Cámara de Pulverizado   |
| FM-CM-AD-MPPD-PE04-P03-2023 | A4 | Plano de Pieza: Tolva de Alimentación   |
| FM-CM-AD-MPPD-PE04-P04-2023 | A4 | Plano de Pieza: Dosificador   |
| FM-CM-AD-MPPD-PE04-P05-2023 | A4 | Plano de Pieza: Respirador  |
| FM-CM-AD-MPPD-PE04-P06-2023 | A4 | Plano de Pieza: Tolva de Descarga   |
| FM-CM-AD-MPPD-PE05-P01-2023 | A3 | Plano de Ensamblaje TURBINA – Vistas y Cotas – Lista de Partes – Notas de Soldadura |
| FM-CM-AD-MPPD-PE05-P02-2023 | A4 | Plano de Pieza: Turbina   |
| FM-CM-AD-MPPD-PE05-P03-2023 | A4 | Plano de Pieza: Placa Martillo  |
| FM-CM-AD-MPPD-PE05-P04-2023 | A4 | Plano de Pieza: Placa Cuchilla  |
| FM-CM-AD-MPPD-PS01-P01-2023 | A4 | Plano de Especificación: Detalles de Juntas - WPS                                   |
| FM-CM-AD-MPPD-PS01-P02-2023 | A4 | Plano de Especificación: WPS S1   |
| FM-CM-AD-MPPD-PS01-P03-2023 | A4 | Plano de Especificación: WPS S2   |
| FM-CM-AD-MPPD-PS01-P04-2023 | A4 | Plano de Especificación: WPS S3   |
| FM-CM-AD-MPPD-PS01-P05-2023 | A4 | Plano de Especificación: WPS S4   |
| FM-CM-AD-MPPD-PS01-P06-2023 | A4 | Plano de Especificación: WPS S5   |
| FM-CM-AD-MPPD-PS01-P07-2023 | A4 | Plano de Especificación: WPS S6   |