



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

**“DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN EQUIPO REDUCTOR DE TAMAÑO DE
BERRO, ESPINACA, ZANAHORIA”**

TESIS DE GRADO

**Previo a la obtención del Título de:
INGENIERO QUÍMICO**

PRESENTADO POR:

**CRISTIAN JAVIER PATIÑO VIDAL
JORGE ANDRES OCAMPO JIMENEZ**

RIOBAMBA – ECUADOR

-2014-

AGRADECIMIENTO

Primero Dios, porque es quien nos da la vida, nos fortalece espiritual y emocionalmente en cada uno de nuestros días, y es el eje principal que nos permite culminar esta laboriosa etapa académica.

A nuestros padres; Bolívar Patiño y Mirtha Vidal, Jorge Ocampo y María Augusta Jiménez, por todo su apoyo, consejos, experiencias compartidas y total confianza brindada durante nuestra carrera estudiantil.

A nuestros hermanos; Marcelo, Eduardo y Adonis por hacernos partícipes de sus alegrías y tristezas que nos ayudaron a forjarnos como personas esperando ser su guía más adelante cuando emprendan nuevos retos.

A quien desde el cielo me guía María Patiño Vidal mi querida hermana un ángel que me cuida, ilumina y acompaña en mi vida cotidiana.

A mis abuelitos Pedro Patiño y Rosa Cabrera por su valioso tiempo en el cual otorgaron cuidados, alimentación, consejos y buenos momentos que siempre los llevaremos en nuestros corazones.

Al Ing. Mario Villacrés quien desde Dirección de Carrera nos guio y formo como grandes profesionales transmitiendo sus enseñanzas y anécdotas de la Industria de la Vida.

Al Ing. Hanníbal Brito por su gran aporte científico en el desarrollo del presente proyecto de tesis, y a lo largo de los últimos años como un amigo más.

A la Dra. Jenny Moreno quien ha sido un aporte y un pie de empuje en mi vida como estudiante y futuro profesional, a la Lic. Adriana Villena quien se ha ganado nuestro aprecio y cariño en estos cinco años.

A Ingenieros, familiares y amigos, quienes formaron parte de este gran sueño ya culminado.

Finalmente a la Institución, quien a más de ser nuestro Centro Educativo se convirtió en nuestro hogar.

Les estamos eternamente agradecidos, Dios los colme de bendiciones.

DEDICATORIA

A mis padres, Bolívar y Mirtha por ser mi fortaleza diaria a emprender este gran viaje y culminarlo exitosamente.

A mi hermano Marcelo por todo su buen humor que brinda hacia mi persona aun cuando estoy decaído emocionalmente.

A Cristina quien ha sido mi soporte, mi apoyo, mi compañera para seguir adelante en la culminación de este proyecto empezado.

A mis abuelitos, tíos, padrinos, amigos y demás familiares que motivaron la culminación de mi carrera profesional.

Cristian Javier Patiño Vidal

A mi familia, padres y hermanos quienes hicieron posible este sueño, en especial a mi Madre María Augusta quien ha sido mi ejemplo a seguir en todos estos años y a mi hermano Adonis que es mi motivación día a día.

A mis amigos; Cristian, Jonathan, Vannesa, Eduardo, Andrés, Dayana, Alexander, María Augusta, Marthita, finalmente a mis padrinos.

Recordar que siempre tenemos que tener a Dios en nuestras vidas.

Jorge Andrés Ocampo Jiménez

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA

HOJA DE FIRMAS

El tribunal de tesis certifica que: El trabajo de investigación "DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN EQUIPO REDUCTOR DE TAMAÑO PARA BERRO, ESPINACA, ZANAHORIA", de responsabilidad de los señores Cristian Javier Patiño Vidal y Jorge Andrés Ocampo Jiménez ha sido prolijamente revisado por los Miembros del Tribunal de Tesis, quedando autorizado su presentación.

NOMBRE	FIRMA	FECHA
Ing. César Ávalos DECANO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS
Ing. Mario Villacrés DIRECTOR DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
Ing. Hanníbal Brito PhD. DIRECTOR DE TESIS
Ing. Mario Villacrés MIEMBRO DEL TRIBUNAL COORDINADOR SISBIB ESPOCH
NOTA DETESIS	

HOJA DE RESPONSABILIDAD

“Nosotros, CRISTIAN JAVIER PATIÑO VIDAL y JORGE ANDRES OCAMPO JIMENEZ, somos responsables de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en el presente proyecto; y el patrimonio de la Tesis de Grado pertenece a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO”

CRISTIAN JAVIER PATIÑO V.

JORGE ANDRES OCAMPO J.

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO		pp.
I	PESAJE ZANAHORIA _____	- 60 -
II	VOLUMEN DESPLAZADO _____	- 61 -
III	ZONA LATERAL _____	- 62 -
IV	ZONA LATERAL _____	- 63 -
V	ZONA FRONTAL _____	- 64 -
VI	PLANO DE LA BASE _____	- 65 -
VII	TOLVA DE ALIMENTACIÓN _____	- 66 -
VIII	ZONA FRONTAL MOTOR _____	- 67 -
IX	ZONA DE MARTILLOS _____	- 68 -
X	ZANAHORIA _____	- 69 -
XI	MATERIAL SECO _____	- 70 -
XII	PICADORA _____	- 71 -

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO	pp.
1 DETERMINACIÓN DE MATERIA PRIMA _____	- 36 -
2 DETERMINACIÓN DE PORCENTAJE DE RENDIMIENTO DE MOLIENDA _____	- 37 -
3 DETERMINACIÓN DE DENSIDAD _____	- 38 -

ÍNDICE DE ECUACIONES

ECUACIÓN	pp.
1 DIÁMETRO DE PARTÍCULA MAXIMO _____	- 10 -
2 TAMAÑO MEDIO ARITMÉTICO _____	- 20 -
3 TAMAÑO MEDIO GEOMÉTRICO _____	- 20 -
4 LEYES DE MOLIENDA _____	- 20 -
5 TEORÍA DE RITTINGER _____	- 21 -
6 TEORÍA DE RITTINGER _____	- 21 -
7 TEORÍA DE RITTINGER _____	- 21 -
8 LEY DE BOND _____	- 22 -
9 LEY DE KICK _____	- 23 -
10 GRADO DE DESINTEGRACIÓN _____	- 26 -
11 POTENCIA _____	- 26 -
12 VOLUMEN DE PRODUCCIÓN POR VUELTA _____	- 28 -
13 VOLUMEN DE PRODUCCIÓN _____	- 28 -
14 EFICACIA DE DESINTEGRACIÓN _____	- 29 -
15 EFICACIA DE DESINTEGRACIÓN _____	- 29 -
16 EFICACIA DE DESINTEGRACIÓN _____	- 30 -
17 EFICACIA DE DESINTEGRACIÓN _____	- 30 -
18 FUERZA _____	- 31 -
19 TORQUE _____	- 32 -

ÍNDICE DE GRÁFICOS

GRÁFICO		pp.
1	QUEBRANTADOR DE MANDÍBULA _____	- 9 -
2	QUEBRANTADOR GIRATORIO _____	- 10 -
3	QUEBRANTADOR DE RODILLOS LISOS _____	- 11 -
4	MOLINO DE FROTACIÓN _____	- 14 -
5	MARTILLOS _____	- 28 -
6	FUERZAS DE CORTE _____	- 31 -

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA		pp.
1	APORTE NUTRICIONAL MEDIO EN EL BERRO (EN 100 G) _____	- 2 -
2	APORTE NUTRICIONAL EN LA ESPINACA (EN 100 G) _____	- 5 -
3	APORTE NUTRICIONAL EN LA ZANAHORIA (EN 100 G) _____	- 6 -
4	DATOS PARA PROCESO DE TRITURACIÓN _____	- 40 -
5	DIÁMETROS DE ZANAHORIA A PICAR _____	- 40 -
6	COMPONENTES DE MATERIA PRIMA _____	- 40 -
7	DATOS DE DENSIDAD _____	- 41 -
8	DATOS DE PESOS DE MATERIA PRIMA _____	- 41 -
9	DATOS DE TAMICES _____	- 41 -
10	DATOS DE TOLVA DE ALIMENTACIÓN _____	- 42 -
11	COSTOS DE PRODUCCIÓN _____	- 42 -
12	DATOS PARA DIMENSIONAMIENTO DE PICADORA _____	- 42 -
13	RESULTADOS DEL EQUIPO _____	- 51 -
14	RESULTADOS DEL MATERIAL MOLIDO _____	- 51 -
15	RESULTADOS DE TAMICES _____	- 51 -
16	RECURSOS MATERIALES _____	- 52 -
17	RECURSOS HUMANOS _____	- 52 -
18	RECURSOS TOTALES _____	- 53 -

ABREVIATURAS

A_m	Área entre cada martillo (m^2)
A	Área (m^2)
A_{wb}	Área por unidad de masa de producto (m^2)
A_{wa}	Área por unidad de masa de alimentación (m^2)
A	Ancho de cada martillo (m)
b	Porcentaje (100%)
c	Peso del producto tamizado (kg)
$^{\circ}C$	Grados centígrados
cm	Centímetros
CV-h	Caballos de vapor por hora
$D_{p,max}$	Diámetro máximo de la partícula (m)
\bar{D}_{sa}	Diámetro/medio volumen-superficie de la alimentación (m)
\bar{D}_{sb}	Diámetro/medio volumen-superficie del producto (m)
e	Espesor (m)
e_s	Energía superficial por unidad de área (J)
g	Gramos
h	Hora
K_b	Constante dependiente del tipo de máquina y del material que se tritura
kg	Kilogramos
kg/d	Kilogramos por día

kg/kWh	Kilogramos por kilowatt*hora
kWh	Kilowatt por hora
L	Longitud de cada martillo (m)
lb	Libras
lb/plg	Libras por pulgada
m	Metros
mg	Miligramos
ṁ	Velocidad de alimentación (m/s)
min	Minutos
mm	Milímetros
m _s	Masa del sólido (kg)
m/s	Metros por segundo
N/cm	Newton por centímetro
η_c	Eficacia de desintegración (%)
η_m	Eficacia mecánica (%)
P	Producto neto (kg)
pies	Pies
pies/min	Pies por minuto
P _{ss}	Peso sólido seco (kg)
P ₁	Peso tamiz vacío (kg)
P ₂	Peso tamiz con muestra (kg)

P_i	Peso inicial de la muestra (kg)
pul	Pulgadas
R	Material retenido (kg)
rpm	Revoluciones por minuto
Tn	Toneladas
Tn/h	Toneladas por hora
ug	Microgramos
um	Micrómetros
V	Volumen por cada vuelta (m^3/rpm)
V_T	Volumen de la Tolva de Alimentación (m^3)
$V_{produccion}$	Volumen de producción ($m^3/día$)
V_d	Volumen desplazado (m^3)
W	Trabajo (J)
$W_{requerida}$	Potencia requerida (watts)
W_n	Energía absorbida por una unidad de masa de material (J)
X	Humedad (%)

ÍNDICE DE CONTENIDOS DE SÍMBOLOS

%	Porcentaje
\emptyset	Diámetro (m)
σ	Esfuerzo
\emptyset_f	Diámetro final de la partícula (m)
\emptyset_i	Diámetro inicial de la partícula (m)
ϕ_a	Esfericidad de la alimentación
ϕ_b	Esfericidad del producto
ρ_p	Densidad de la partícula (kg/m ³)
$\rho_{\text{sólido}}$	Densidad del sólido (kg/m ³)
Σ	Grado de desintegración

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CONTENIDO	pp
RESUMEN.....	I
SUMMARY	II
INTRODUCCIÓN.....	III
ANTECEDENTES	V
JUSTIFICACIÓN	VII
OBJETIVOS	VIII
CAPITULO I	- 1 -
1 MARCO TEÓRICO.....	- 1 -
1.1 <i>Vegetales</i>	- 1 -
1.1.1 <i>Berro</i>	- 1 -
1.1.2 <i>Espinaca</i>	- 3 -
1.1.3 <i>Zanahoria</i>	- 5 -
1.2 Reducción de tamaño	- 7 -
1.2.1 <i>Equipo para Reducción de Tamaño</i>	- 7 -
1.2.2 <i>Quebrantadores</i>	- 8 -
1.2.3 <i>Molinos</i>	- 12 -
1.2.4 <i>Operación del Equipo</i>	- 16 -
1.2.5 <i>Sistema de Molienda</i>	- 18 -
1.2.6 <i>Leyes de la Trituración</i>	- 21 -
1.2.7 <i>Eficiencia de los Procesos de Molienda.</i>	- 23 -
1.2.8 <i>La Molturabilidad.</i>	- 24 -
1.3 Diseño	- 24 -
1.3.1 <i>Grado de desintegración</i>	- 25 -
1.4 Potencia	- 26 -

1.4.1 Eficacia de la desintegración.	- 29 -
1.4.2 Fuerza	- 30 -
1.4.3 Torque	- 31 -
2 PARTE EXPERIMENTAL	- 33 -
2.1 Metodologías	- 33 -
2.1.1 Plan de Muestreo	- 33 -
2.1.2 Métodos y técnicas	- 33 -
2.2 Datos de diseño	- 39 -
2.2.1 Diagnóstico	- 39 -
2.2.2 Datos Experimentales	- 39 -
CAPITULO III	- 44 -
3 CÁLCULOS Y RESULTADOS	- 44 -
3.1 Cálculos	- 44 -
3.1.1 Determinación del diámetro inicial	- 44 -
3.1.2 Determinación del área de entrada entre cada martillo	- 44 -
3.1.3 Determinación del volumen de la tolva de alimentación	- 44 -
3.1.4 Determinación de la densidad de la materia prima	- 45 -
3.1.5 Determinación del volumen de producción diario requerido	- 45 -
3.1.6 Determinación del volumen de producción por vuelta	- 45 -
3.1.7 Determinación del volumen de producción por día	- 46 -
3.1.8 Determinación de la fuerza requerida	- 46 -
3.1.9 Determinación del torque	- 47 -
3.1.10 Determinación de la velocidad angular	- 47 -
3.1.11 Determinación de la potencia del motor	- 47 -
3.1.12 Determinación de producto neto	- 48 -
3.1.13 Determinación del grado de desintegración	- 48 -

3.1.14 Determinación del porcentaje de rechazo	- 49 -
3.1.15 Determinación del rendimiento del equipo	- 49 -
3.1.16 Determinación de la eficiencia del equipo	- 49 -
3.2 Resultados	- 51 -
3.3 Propuesta	- 52 -
3.3.1 Requerimiento presupuestario	- 52 -
3.4 Análisis y discusión de resultados	- 54 -
CONCLUSIONES	- 56 -
RECOMENDACIONES	- 57 -
BIBLIOGRAFÍA	- 58 -
ANEXOS	- 60 -

RESUMEN

El diseño y construcción de una picadora de martillos se realizó con el objeto de reducir el tamaño de la espinaca, zanahoria y berro a un diámetro deseado de 0,5-1 cm, el mismo que servirá dentro del ámbito profesional, educativo y didáctico en el Laboratorio de Procesos Industriales de la Facultad de Ciencias en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Para el diseño del equipo, se procedió a determinar experimentalmente en el laboratorio la humedad óptima con la cual la materia prima debe salir desde el secador tipo armario, esta es de 10%; por lo que, la máquina cuenta con un motor de potencia de 2 hp indispensable para el correcto funcionamiento de la misma, una fuerza de 2057,4 N para romper las hojas de berro y espinaca y picar la zanahoria, un torque de 31,8897 J que permite el giro completo de los martillos en el momento del picado, áreas de martillos de 0,0019355 m² con los cuales el berro, espinaca y zanahoria es picado a un diámetro de 0,5 cm, una tolva de alimentación con un volumen de 0,00125 m³ que abastece el ingreso de materia prima, una producción diaria de 240 kg/h; dichas características permiten el picado total del material.

Como resultado se obtuvo una picadora de martillos con un rendimiento del 89,7% y una eficiencia del 73,96%, siendo resultados positivos y de alta gama que indican que se puede procesar la materia prima al diámetro de 0,5-1cm. Se recomienda utilizar la picadora de martillos dentro del laboratorio para futuras investigaciones dentro del campo educativo como productivo.

SUMMARY

The design and construction of a grinder hammer was performed in order to reduce the size of spinach, carrots and watercress to a desired diameter 0,5-1 cm, which will serve in the professional, educational and didactic field at the Industrial Processes, Faculty of Science at ESPOCH.

For the design of the machine, we proceeded to determine experimentally in the laboratory the optimum moisture with which the raw material must come out from the closet type dryer, this is 10%; therefore, the machine has an engine power of 2 hp essential for the proper operation thereof, a force of 2057,4 N to break leaves of watercress and spinach and chop carrots, torque 31,8897 J that allows full rotation of the hammers when chopping, hammer area which is 0,0019355 m² with watercress, spinach and carrots are chopped to a diameter of 0,5 cm, a feed hopper with a volume of 0,00125 m³ which supplies the raw material input, a daily production of 240 kg/h; these features allow the total chopped material.

As a result was obtained a mincer hammer with a yield of 89,7% and an efficiency of 73,96%, with positive results and high end indicating that you can process the raw material to the diameter of 0,5-1cm. We recommend using the grinder hammer in the laboratory for future research within the education field as productive.

INTRODUCCIÓN

En la Industria alimenticia, minera y química, diversos sólidos presentan tamaños no manejables para su aplicación por lo que se deben reducir de tamaño, el término reducción de tamaño se aplica a todas las formas en que las partículas de sólidos pueden ser desintegradas en partículas más pequeñas. Las grandes rocas y demás minerales se desintegran hasta un tamaño manejable así como también alimentos secos o deshidratados que se los muele hasta formar polvos o harinas para su fácil manipulación ya sea como producto terminado o como materia prima de otro.

Una de las empresas que ha motivado el empleo y uso de la reducción de tamaño es NETZSCH Trockenmahltechnik, la cual, es el líder mundial en el procesado en seco de materiales. La línea de productos que esta empresa presenta comprende máquinas y plantas para la molienda fina y la clasificación de sólidos de diversas durezas y para cualquier finura final que se requiera; con la finalidad de satisfacer al cliente dependiendo de la necesidad del mismo como: recubrimientos y barnices, cerámica, minerales y materiales orgánicos.

Dentro de la industria Ecuatoriana, la reducción de tamaño ha sido un tema que se viene tratando desde la antigüedad, su uso y aplicación ha permitido fortalecer el campo industrial de minerales, alimentos, farmacéuticas, metalurgia, etc. Muchas empresas ocupan máquinas que permiten dar un tratamiento adecuado al material que se utiliza, estas máquinas como: quebrantadores, trituradores o molinos han permitido que la estas industrias satisfagan el mercado nacional e internacional; muchos productos como: cerámicas, cemento, harinas, balanceados, ripio constituyéndose en bienes consumibles o materiales a ocupar en un siguiente proceso.

Los sólidos pueden desintegrarse de diferentes maneras, por lo común, solo se manejan cuatro de estas en los equipos de reducción de tamaño: la compresión utilizado para la reducción gruesa de sólidos duros, dando lugar relativamente pocos

finos; el impacto genera productos gruesos, medios o finos; la frotación produce productos muy finos a partir de materiales blandos no abrasivos. El corte da lugar a un tamaño definido de partícula y en algunas ocasiones también de forma definida, con muy pocos o nada de finos.

A nivel de Riobamba existen varias industrias que emplean la reducción de tamaño para producir bienes consumibles por el mercado nacional e internacional, estos a su vez han permitido que la economía del Ecuador promueva fuentes de trabajo a muchas personas; estos productos, tales como: cerámica, cemento, harinas son apetecidos por el cliente ecuatoriano y en cierta parte por clientes internacionales.

La zanahoria, berro y espinaca, hortalizas deshidratadas se ingresan a una picadora de martillos para su reducción de tamaño y de esta manera obtener un producto con un tamaño de partícula adecuado para el proceso, este material particulado será empleado como materia prima para un siguiente proceso ya que es de fácil manipulación.

El interés que presenta el Ingeniero Químico a esta Operación Unitaria en cuanto al cambio de matriz productiva e innovación de productos, es la relación del gasto energético de la materia prima con el tiempo de operación de la misma. El ingeniero debe conocer las leyes que rigen esta operación, así como: Ley de Kick, Ley de Bond o Teoría de Rittinger; así como el tipo de maquinaria adecuada según el material a tratar; y como principal prioridad determinar el tamaño de partícula adecuado para su uso final, ya sea este en la producción de gel con característica protectora solar, en la obtención de alimentos con un diámetro reducido para elaborar harinas o en el picado de vegetales para obtener abono orgánico.

ANTECEDENTES

Desde la antigüedad, el hombre se ha visto en la necesidad de reducir de tamaño ciertos materiales sólidos como uno de los más conocidos se tiene el grano del trigo debido a su dureza no podía ser de fácil asimilación para el organismo por lo cual este se las ingenió con el uso de piedras para así poder reducir su tamaño hasta un polvo fino de fácil asimilación.

Para facilitar la trituración del grano, el hombre inventó el molino, que facilitó la molienda y substituyó al par de piedras de antaño. Primero se utilizó un sistema complicado, pues sobre un gran bloque de piedra fija y plana se movía otra piedra redonda de gran peso. Esta última era movida por animales, esclavos o prisioneros. Años antes de Cristo se inventó la rueda de agua que fue aprovechada para que moviera estas piedras.

Pasaron muchos años hasta que en el siglo VII, los árabes inventaron el molino de viento que facilitó aún más la molienda, además se perfeccionaron las piedras planas las cuales fueron sustituidas por cónicas. Estas se encontraban estriadas de cierta manera que facilitaba el movimiento del trigo en trituración desde el centro hasta la periferia de la piedra. En el siglo pasado se perfeccionó el sistema de molienda y se comenzó con rodillos cilíndricos.

Con el pasar de los años se descubrió que la molienda no se podía limitar solamente al grano de trigo y se comenzó a trabajar con nuevos tipos de granos habas, alverjas entre otros. Hoy en la actualidad muchos alimentos son secados y luego pasan a un proceso de molienda para ser conservados a manera de harinas o polvos finos de fácil manipulación, ya sea para fin en la industria alimenticia o materia prima de otro tipo de productos como es lo es en ciertos cosméticos en algunos productos.

Muchos estudios realizados han permitido obtener una percepción más clara del tipo de material que puede ser reducido de tamaño, como: granos secos, minerales,

vegetales; máquinas a utilizar, como: molino de martillos, molino de impacto, trituradores de plástico, quebrantadores de piedra.

Desde el campo industrial hasta el campo educativo, se ha analizado la necesidad de reducir el tamaño de un material cualquiera a un diámetro deseado, para el mismo utilizarlo en una línea de proceso o a su vez en un estudio de innovación. Empresas como Cemento Chimborazo, ECUACERÁMICA, TUBASEC C.A.; realizan estudios para que los minerales como: piedra caliza, arcilla, fosfatos sean triturados y utilizados en sus respectivas líneas de proceso para la obtención de sus productos que elaboran a diario.

En el campo educativo, el estudio que se realiza a este capítulo es un poco menos profundo, con la finalidad de realizar un proyecto donde el estudiante o profesor pueda comprender la manera como un material puede ser reducido de tamaño empleando desde una simple máquina, ya sea este un molino de mano; hasta una máquina de aplicación semiindustrial, como: un molino o trituradora. Muchas tesis se han elaborado en base a estudios realizados en alimentos y minerales, dependiendo de la dureza de los mismos; gran cantidad de máquinas son construidas para su estudio, es así que se tiene:

“DISEÑO DE UNA MAQUINA PICADORA DE RASTROJO, PARA PRODUCCIÓN DE ABONO ORGÁNICO”, ZAMBRANO, Luis. Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción, Escuela de Ingeniería Mecánica, ESPOL. Guayaquil-Ecuador. 2004

“DISEÑO DE UN SISTEMA PARA EL PROCESO DE MOLIENDA DE CARBON MINERAL PARA SER USADO COMO COMBUSTIBLE MINERAL”, REAL, Juan. Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción, Escuela de Ingeniería Mecánica, ESPOL. Guayaquil-Ecuador. 2006

JUSTIFICACIÓN

El berro, espinaca y zanahoria presentan características de importancia como lo son carotenoides y sus principios fotoprotectores, para ser consideradas en la elaboración de gel de protección solar para la piel. Aprovechar el deshidratado que se realiza a estas hortalizas para aplicar una molienda y obtener un tamaño de partícula de fácil manipulación a lo largo del proceso de elaboración del gel y permitir así la óptima extracción de los principios activos de las hortalizas.

El diseño y construcción de un equipo de reducción de tamaño permite obtener un tamaño de partícula de fácil aplicación, de las hortalizas ya deshidratadas (berro, espinaca y zanahoria) y de esta manera apoyar al desarrollo del proceso de elaboración de gel de protección solar a nivel de laboratorio. Proponiendo así innovación en el desarrollo científico de la Carrera de Ingeniería Química.

Con el afán de obtener un tamaño de partícula óptimo para el proceso se desarrollará el diseño y construcción de una picadora de martillos que ayudará y fortalecerá al campo investigativo y educativo del estudiante en la obtención de nuevos productos.

OBJETIVOS

GENERAL

Realizar el diseño y construcción de un equipo de reducción de tamaño para berro, espinaca, zanahoria

ESPECÍFICOS

- Reducir el tamaño del berro, espinaca, zanahoria a diversos diámetros.
- Identificar las variables del proceso.
- Realizar los cálculos de ingeniería.
- Validar el proceso.

CAPITULO I

1 MARCO TEÓRICO

La reducción de tamaño es una Operación Unitaria en la que se ven inmersas diversas variables que afectan de una u otra manera al proceso como tal, por lo que es necesario conocer la materia prima con la que se va a trabajar en el mismo las cuales a continuación son detalladas.

1.1 Vegetales

1.1.1 Berro

“El berro constituye en nuestra dieta un alimento de origen vegetal. En lo que se refiere al tipo de alimento, pertenece al grupo verduras/hortalizas, y por sus características lo enmarcamos dentro de la rama hojas.

El resto de nutrientes presentes en este alimento, ordenados por relevancia de su presencia, son: vitamina B6, magnesio, potasio, vitamina B2, vitamina B, fibra, cinc, fósforo, hidratos de carbono, vitamina B3, proteínas, calorías, selenio, ácidos grasos poliinsaturados, sodio, grasa, ácidos grasos saturados y ácidos grasos mono insaturados.

Tabla 1: Aporte Nutricional Medio en el Berro (en 100 g)

VITAMINAS		COMPONENTES		COMPONENTES PRINCIPAL	
Característica	g	Característica	g	Característica	g
A	0,0008166	Potasio	0,276	Proteínas	1,60
B1	0,00009	Fosforo	0,064	Hidratos	2,03
B2	0,00017	Fibra	1,47	Agua	94,60
B3	0,00073	Grasa	0,30	Calcio	0,180
B6	0,00023	AGS	0,08	Hierro	0,00310
B9	0,000214	AGM	0,02	Zinc	0,0070
C	0,096	AGP	0,11	Magnesio	0,034
E	0,00000014	Carotenoides	0,0049	Sodio	0,012

Fuente: BERRO: <http://www.saludybuenosalimentos.es/alimentos/index.php?s1=s1&s2=s2&s3=Berro>

Por la concentración de vitamina C, el berro presenta propiedades antioxidantes que ayudan a neutralizar los radicales libres y a eliminar determinadas sustancias tóxicas, reduciendo la probabilidad de desarrollar cáncer. La vitamina C inhibe además el crecimiento de bacterias dañinas para el organismo, favorece el sistema inmunitario, previene enfermedades vasculares al reducir la tensión arterial, y es empleada en tratamientos contra alergias como el asma o la sinusitis.

Gracias al contenido de vitamina B9, el berro contribuye a la formación de células sanguíneas y glóbulos rojos, ayudando a prevenir la anemia y a mantener sana la piel. Además de ser indispensable para la correcta división y crecimiento celular -fundamental durante el embarazo y la infancia-, la vitamina B9 -o ácido fólico- interviene en el metabolismo de proteínas, ADN y ARN, reduciendo el riesgo de aparición de deficiencias en el tubo neural del feto (estructura que dará lugar al sistema nervioso central).

Como consecuencia de los niveles de calcio que presenta, el berro contribuye al fortalecimiento de huesos, dientes y encías, y favorece la adecuada coagulación de la sangre, previniendo enfermedades cardiovasculares, ya que el calcio ayuda a disminuir los niveles de colesterol en sangre. El berro contiene un 94,60% de agua,

y por lo tanto favorece la hidratación de nuestro organismo, al que debemos abastecer, incluyendo el consumo a través de los alimentos, con una cantidad de agua que oscila entre los 2,7 y los 3,7 litros, dependiendo de cada constitución, de la actividad física desarrollada, o de estados como el embarazo, la lactancia, enfermedad o exposición a fuentes de calor, circunstancias estas últimas donde las necesidades de consumo aumentan.

La presencia de vitamina E confiere al berro propiedades antioxidantes que ayudan a mantener la integridad de la membrana celular, protegiendo las células y aumentando la respuesta defensiva de éstas ante la presencia de sustancias tóxicas derivadas del metabolismo del organismo o del ingreso de compuestos por vías respiratorias o bucales.

Asimismo, esta vitamina protege al organismo frente a la destrucción de ácidos grasos, vitamina A, vitamina C y selenio, y frente al envejecimiento causado por la degeneración de tejidos que trae consecuencias como la falta de memoria, siendo importante en la formación y renovación de fibras elásticas y colágenos del tejido conjuntivo.”¹

1.1.2 Espinaca

“La espinaca es un alimento del reino vegetal dentro de la dieta del hombre, de la familia *amaranthaceae*, género *spinacia* y especie *oleracea*. En lo que se refiere al tipo de alimento, pertenece al grupo verduras/hortalizas, y por sus características lo enmarcamos dentro de la rama hojas.

Las espinacas son una fuente muy importante de sustancias de acción antioxidante. Las espinacas están compuestas en su mayoría por agua. Su contenido de hidratos de carbono y grasas es muy bajo. Aunque tampoco tiene una cantidad muy alta de proteínas, es uno de los vegetales más ricos en este nutriente. Su contenido en fibra, al igual que ocurre con la gran mayoría de las verduras, es considerable, lo

¹ Berro: <http://www.saludybuenosalimentos.es/alimentos/index.php?s1=s1&s2=s2&s3=Berro>

que resulta beneficioso para la salud. Se destacan sobre todo por una riqueza en vitaminas y minerales que sobrepasa a la de la mayoría.

En relación con su riqueza vitamínica, las espinacas presentan cantidades elevadas de provitamina A y de vitaminas C y E, todas ellas de acción antioxidante. Asimismo es muy buena fuente de vitaminas del grupo B como folatos, B2, B6 y, en menor proporción, también se encuentran B3 y B1.

La vitamina E interviene en la estabilidad de las células sanguíneas y en la fertilidad. Los folatos colaboran en la producción de glóbulos rojos y blancos, en la síntesis de material genético y en la formación de anticuerpos del sistema inmunológico.

La vitamina B2 o *Riboflavina* se relaciona con la producción de anticuerpos y de glóbulos rojos, interviene en procesos de obtención de energía y en el mantenimiento del tejido epitelial de las mucosas.

En cuanto a su contenido en minerales, las espinacas son ricas en calcio, hierro, magnesio, potasio, sodio, además de presentar también buenas cantidades de fósforo y yodo. Lo que ocurre es que el calcio es de peor aprovechamiento que el que procede de los lácteos u otros alimentos que son fuente importante de este mineral. Algo similar ocurre con el hierro, cuya absorción es mucho mayor cuando procede de alimentos de origen animal.

El potasio, al igual que el sodio, es un mineral necesario para la transmisión y generación del impulso nervioso y para la actividad muscular normal. Regula también el equilibrio de agua dentro y fuera de la célula. El yodo es indispensable para el buen funcionamiento de la glándula tiroidea, que regula el metabolismo.”²

² Espinaca: <http://verduras.consumer.es/documentos/hortalizas/espinacas/salud.php>

Tabla 2: Aporte Nutricional en la Espinaca (en 100 g)

VITAMINAS		COMPONENTES		COMPONENTES PRINCIPAL	
Característica	g	Característica	g	Característica	g
A	0,000439	Potasio	0,369	Proteínas	2,96
B1	0,00006	Fosforo	0,0413	Hidratos	0,79
B2	0,00014	Fibra	2,33	Agua	93,97
B3	0,000177	Grasa	0,57	Calcio	0,14782
B6	0,00070	AGS	0,14	Hierro	0,00255
B9	0,000110	AGM	0,04	Zinc	0,00055
C	0,01937	AGP	0,22	Magnesio	0,055
E	0,00000658	Carotenoides	0,0263	Sodio	0,085

Fuente: ESPINACA: <http://www.saludybuenosalimentos.es/alimentos/index.php?s1=s1&s2=s2&s3=Espinaca>

1.1.3 Zanahoria

“La zanahoria constituye un alimento de procedencia vegetal que forma parte de la dieta del hombre, de la familia *apiaceae*, género *daucus* y especie carota. En lo que se refiere al tipo de alimento, pertenece al grupo verduras/hortalizas, y por sus características lo enmarcamos dentro de la rama raíces.

En cuanto al aspecto nutricional, es un alimento que destaca por su significativo aporte de carotenoides, vitamina A y agua. El resto de nutrientes presentes en este alimento, ordenados por relevancia de su presencia, son: potasio, vitamina B6, yodo, fibra, hidratos de carbono, vitamina C, vitamina B, vitamina E, calcio, sodio, magnesio, vitamina B2, vitamina B9, fósforo, hierro, calorías, vitamina B3, cinc, proteínas, selenio, ácidos grasos poliinsaturados, grasa, ácidos grasos saturados y ácidos grasos monoinsaturados.

Tabla 3: Aporte Nutricional en la Zanahoria (en 100 g)

VITAMINAS		COMPONENTES		COMPONENTES PRINCIPAL	
Característica	g	Característica	g	Característica	g
A	0,00000703	Potasio	0,2347	Proteínas	0,83
B1	0,00007	Fosforo	0,0315	Hidratos	5,16
B2	0.00005	Fibra	1,62	Agua	92,25
B3	0,00057	Grasa	0,16	Calcio	0,02781
B6	0,000015	AGS	0,03	Hierro	0,0043
B9	0,00000748	AGM	0,01	Zinc	0,0019
C	0,00432	AGP	0,08	Magnesio	0,00959
E	0.0000058	Carotenoides	0,0356	Sodio	0,05175

Fuente: ZANAHORIA: <http://www.saludybuenosalimentos.es/alimentos/index.php?s1=s1&s2=s2&s3=Zanahoria>

Por su composición, rica en vitamina A, la zanahoria colabora en las funciones de crecimiento, mantenimiento y reparación del sistema óseo, a la vez que contribuye al desarrollo celular relacionado con la vista, mucosas, epitelios, piel, uñas, cabello y esmalte de dientes. La vitamina A cumple además un rol determinante en la función reproductiva, contribuyendo tanto en la producción de esperma como en el ciclo reproductivo femenino, y favoreciendo el normal desarrollo de células y tejidos del feto durante el embarazo.

La zanahoria contiene un 92,25% de agua, y por lo tanto favorece la hidratación de nuestro organismo, al que debemos abastecer, incluyendo el consumo a través de los alimentos, con una cantidad de agua que oscila entre los 2,7 y los 3,7 litros, dependiendo de cada constitución, de la actividad física desarrollada, o de estados como el embarazo, la lactancia, enfermedad o exposición a fuentes de calor, circunstancias estas últimas donde las necesidades de consumo aumentan.

En cosmética, las zanahorias se pueden utilizar para confeccionar mascarillas o cremas limpiadoras para el cuidado del cutis. Su capacidad para nutrir la piel y absorber las impurezas acumuladas sobre el cutis, la hace muy adecuada para la confección de mascarillas para el acné.”³

³ Zanahoria: <http://www.saludybuenosalimentos.es/alimentos/index.php?s1=s1&s2=s2&s3=Zanahoria>

1.2 Reducción de tamaño

“El término reducción de tamaño se aplica a todas las formas en las que las partículas de sólidos se pueden cortar o romper en piezas más pequeñas. En los procesos industriales la reducción de tamaño de sólidos se lleva a cabo por distintos métodos y con fines diferentes. Las grandes piedras de un mineral crudo. Se desintegran hasta un tamaño manejable; los productos químicos sintéticos se muelen hasta polvo y las láminas de plástico se cortan en cubos o rombos. Los productos comerciales con frecuencia han de cumplir rigurosas especificaciones con respecto al tamaño y, a veces, con respecto a la forma de las partículas. La reducción de partículas aumenta también la reactividad de los sólidos, permite la separación por métodos mecánicos de ingredientes no deseados y reduce el tamaño de un material fibroso para su más fácil tratamiento.

1.2.1 Equipo para Reducción de Tamaño

“El equipo para la reducción de tamaño se divide en quebrantadores, molinos, molinos de ultra finos y máquinas de corte. Los quebrantadores realizan el trabajo pesado de romper grandes piezas de sólidos en pequeños trozos. Un quebrantador primario opera con el material que sale de cantera, aceptando todo el material tal como sale y rompiéndolo en trozos de 6 a 10 pul (150 a 250 mm). Un quebrantador secundario reduce estos trozos a partículas quizás de 1/4 pul (6 mm). Los molinos reducen el producto del quebrantador hasta formar un polvo. El producto procedente de un molino intermedio puede pasar a través de un tamiz de 40 mallas, mientras que la mayor parte del producto que sale de un molino fino pasa a través de un tamiz de 200 mallas. Un molino ultra fino acepta como alimentación partículas no superiores a 1/4 pulg (6 mm) y genera un producto con un tamaño típico de 1 a 50 μm . Las cortadoras producen partículas de forma y tamaño definidos, con una longitud de 2 a 10 mm.

A continuación se relacionan los principales tipos de máquinas para la reducción de tamaño.

- a. Quebrantadores
- b. Molinos (intermedios y finos)
- c. Molinos ultra finos.
- d. Máquinas de corte.

Estas máquinas realizan su trabajo en formas muy diferentes. La compresión es la acción característica de los quebrantadores. Los molinos utilizan impacto y frotación, a veces combinadas con compresión; los molinos de ultra finos operan principalmente por frotación. El corte es, por supuesto, la acción característica de las máquinas cortadoras.”⁴

1.2.2 Quebrantadores

“Los quebrantadores son máquinas de baja velocidad utilizadas para la reducción gruesa de grandes cantidades de sólidos. Los principales tipos son los quebrantadores de rodillos lisos y los dentados. Los tres primeros operan por compresión y pueden romper grandes trozos de materiales muy duros, como es el caso de la reducción primaria y secundaria de rocas y minerales. Los quebrantadores dentados trocean y separan la alimentación; pueden tratar alimentaciones blandas como carbón, huesos y pizarras blandas.”⁵

1.2.2.1 Quebrantadores de mandíbulas.

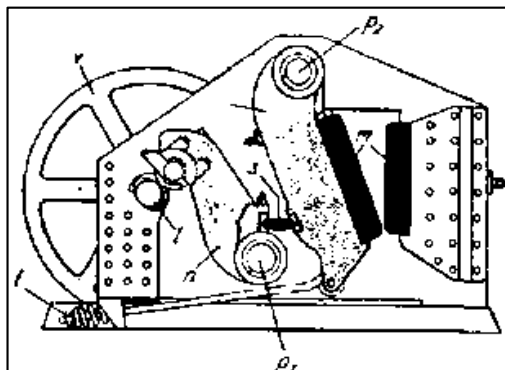
“En un quebrantador de mandíbulas la alimentación se introduce entre dos mandíbulas que forman una V abierta por la parte superior. Una de las mandíbulas, que recibe el nombre de yunque, es tija, está situada en posición casi vertical y no

⁴ Mc CABE, W. OPERACIONES UNITARIAS EN INGENIERÍA QUÍMICA. 4ta ed. México. McGraw Hill

⁵ Mc CABE, W. OPERACIONES UNITARIAS EN INGENIERÍA QUÍMICA. 4ta ed. México. McGraw Hill

se mueve; la otra, que recibe el nombre de oscilante, se mueve alternativamente en un plano vertical, y forma un ángulo de 20 a 30° con la mandíbula tija. Está accionada por una excéntrica, de forma que aplica una gran fuerza de compresión a los trozos situados entre las mandíbulas. Las caras de las mandíbulas son planas o ligeramente combadas, y pueden tener muescas en forma de hendiduras horizontales. Los trozos grandes atrapados entre las partes superiores de las mandíbulas se rompen, descienden hacia el espacio más estrecho inferior, y vuelven a romperse en el siguiente movimiento de cierre de la mandíbula. Las mandíbulas se abren y cierran unas 250 a 400 veces por minuto.”⁶

GRÁFICO 1: Quebrantador de Mandíbula



Fuente: OCON V., Elementos de ingeniería química./ ESPOC/2014

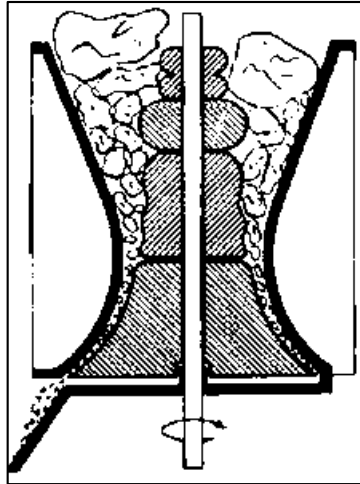
1.2.2.2 Quebrantadores giratorios.

“Un quebrantador giratorio puede considerarse como un quebrantador de mandíbulas troncocónicas, entre las cuales el material es triturado en algún punto en todo momento. Un cabezal cónico de trituración gira en el interior de una carcasa en forma de embudo abierta por su parte superior. Por tanto, en cualquier punto de la periferia de la carcasa, el fondo del cabezal de trituración se mueve hacia dentro y hacia fuera de la pared estacionaria. Los sólidos atrapados en el espacio en forma de V entre el cabezal y la carcasa se van rompiendo sucesivamente hasta que salen

⁶ Mc CABE, W. OPERACIONES UNITARIAS EN INGENIERÍA QUÍMICA. 4ta ed. México. McGraw Hill

por el fondo. El cabezal de trituración puede rotar sobre el eje y gira lentamente debido a la fricción con el material que se tritura.”⁷

GRÁFICO 2: Quebrantador Giratorio



Fuente: OCON V., Elementos de ingeniería química./ ESPOC/2014

1.2.2.3 Quebrantadores de rodillos lisos.

“Los dos rodillos metálicos de superficies lisas, que giran sobre ejes horizontales paralelos, son los elementos activos del quebrantador de rodillos. Las partículas de la alimentación quedan atrapadas entre los rodillos, se rompen por compresión y caen por la parte inferior. Los dos rodillos giran uno hacia el otro con la misma velocidad. Los rodillos son relativamente estrechos y de gran diámetro de forma que pueden atrapar trozos moderadamente grandes.

El tamaño límite de las partículas, $D_{p,max}$, que puede ser atrapado por los rodillos depende del coeficiente de fricción entre la partícula y la superficie del rodillo, pero en la mayor parte de los casos puede estimarse a partir de la relación sencilla

$$D_{p,max} = 0,04R + d \quad \text{Ecuación 1}$$

⁷ Mc CABE, W. OPERACIONES UNITARIAS EN INGENIERÍA QUÍMICA. 4ta ed. México. McGraw Hill

Dónde:

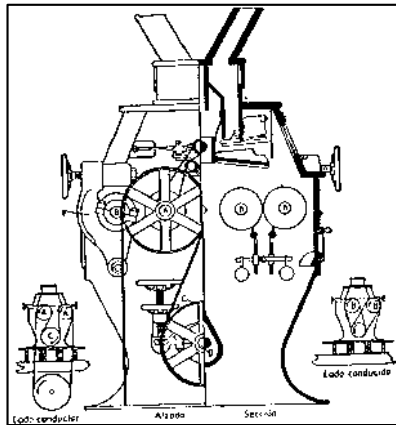
R = radio de los rodillos (m)

d = mitad de la distancia de separación entre los rodillos (m)

La ecuación expuesta es aplicable para determinar el tamaño límite de partícula a ser desintegrado que puede ingresar al equipo reductor de tamaño.

El tamaño máximo del producto es aproximadamente igual a $2d$.⁸

GRÁFICO 3: Quebrantador de Rodillos Lisos



Fuente: OCON V., Elementos de ingeniería química./ ESPOC/2014

1.2.2.4 Quebrantadores de rodillos dentados.

“En muchos quebrantadores de rodillos sus superficies están provistas de rugosidades, barras trituradoras o dientes. Tales quebrantadores pueden tener dos rodillos, como en el caso de rodillos lisos, o solamente un rodillo que actúa frente a una placa estacionaria curvada. Las máquinas conocidas como *desintegradores* contienen dos rodillos rugosos que giran a velocidades diferentes, o bien un pequeño rodillo de alta velocidad provisto de barras transversales sobre su superficie y que gira hacia un gran rodillo liso de baja velocidad.

⁸ Mc CABE, W. OPERACIONES UNITARIAS EN INGENIERÍA QUÍMICA. 4ta ed. México. McGraw Hill

1.2.3 Molinos

El término molino se utiliza para describir una gran variedad de máquinas de reducción de tamaño para servicio intermedio. El producto procedente de quebrantador con frecuencia se introduce como alimentación de un molino, en el que se reduce a polvo.

1.2.3.1 Molinos de martillos e impactores.

Todos estos molinos contienen un rotor que gira a alta velocidad en el interior de una carcasa cilíndrica. El eje generalmente es horizontal. La alimentación entra por la parte superior de la carcasa, se trocea y cae a través de una abertura situada en el fondo. En un molino de martillos las partículas se rompen por una serie de martillos giratorios acoplados a un disco rotor. Una partícula que entra en la zona de molienda no puede salir sin ser golpeada por los martillos. Se rompe en pedazos, se proyecta contra la placa estacionaria situada dentro de la carcasa rompiéndose todavía en fragmentos más pequeños. Estas a su vez son pulverizadas por los martillos y son impulsadas a través de una rejilla o tamiz que cubre la abertura de descarga. En molinos de martillos para una molienda fina la velocidad periférica de los extremos de los martillos puede llegar a ser de 22 000 pies/min (112 m/s), y tratan de 0,1 a 15 Tn/h hasta tamaños más finos que 200 mallas. Los molinos de martillos pueden tratar casi cualquier producto: sólidos fibrosos como cortezas o cuero, virutas de acero, pastas blandas y húmedas, arcilla plástica o una roca dura. Para obtener una molienda fina están limitados a los materiales más blandos.

Los molinos comerciales típicamente tratan 100 a 400 lb de sólido por caballo-hora (60 a 240 kg/kWh) de energía consumida.

Un impactor, se parece a un molino de martillos para servicio pesado, pero no contiene rejilla o tamiz. Las partículas se rompen exclusivamente por impacto, sin la acción secundaria de pulverización característica de los molinos de martillos”⁹

1.2.3.2 Máquinas de rodadura-compresión.

“En este tipo de molinos las partículas sólidas son captadas y trituradas entre un medio rodante y la superficie de un anillo o carcasa. Los tipos más frecuentes son los pulverizadores de rodadura-anillo, los molinos de rulos, y los molinos de rodillos, los rodillos cilíndricos verticales presionan con gran fuerza hacia fuera frente a un anillo estacionario, con la forma de una plaza de toros

Giran con velocidades moderadas siguiendo un recorrido circular. Los trozos de sólidos son desplazados desde la solera del molino y llevados entre el anillo y los rodillos, donde tiene lugar la molienda. El producto es barrido fuera del molino por una corriente de aire hasta un separador-clasificador, desde el cual las partículas grandes retornan al molino para su posterior reducción. En un molino de rulos, y en algunos molinos de rodillos, gira la carcasa o el anillo, mientras que los rodillos rotan sobre ejes estacionarios, que pueden ser verticales u horizontales. Los molinos de este tipo encuentran su principal aplicación en la molienda de piedra caliza, Clinker de cemento y carbón. Cuando se utiliza clasificación, puede ser tan fino como que el 99 por 100 pase a través de un tamiz de 200 mallas.”¹⁰

1.2.3.3 Molinos de frotación.

“En un molino de frotación las partículas de sólidos blandos son frotadas entre las caras planas estriadas de unos discos circulares rotatorios. El eje del disco es generalmente horizontal, aunque a veces puede ser vertical. En un molino de rotación simple uno de los discos es estacionario y el otro rota, mientras que en las

⁹ Mc CABE, W. OPERACIONES UNITARIAS EN INGENIERÍA QUÍMICA. 4ta ed. México. McGraw Hill

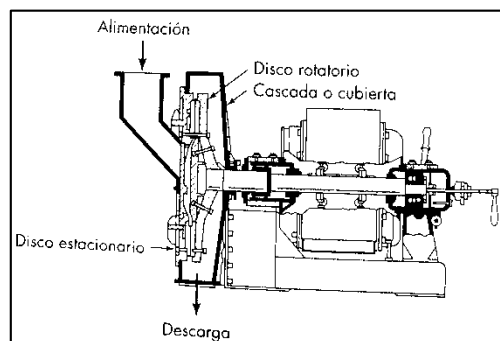
¹⁰ Mc CABE, W. OPERACIONES UNITARIAS EN INGENIERÍA QUÍMICA. 4ta ed. México. McGraw Hill

máquinas de doble rotación ambos discos giran a alta velocidad en sentidos contrarios. La alimentación entra a través de una abertura situada en el centro de uno de los discos, pasa hacia fuera a través de la separación entre los discos y descarga por la periferia en una carcasa estacionaria.

Estos molinos contienen discos de piedra esmeril para la reducción de sólidos tales como talco y yeso, o bien discos metálicos para sólidos tales como madera, almidón, polvos de insecticidas y cera de carnauba. Los discos metálicos generalmente son de acero ordinario, si bien para materiales corrosivos a veces son necesarios discos de acero inoxidable.

Los discos de los molinos de rotación simple tienen de 10 a 54 pul de diámetro (250 a 1370 mm) y giran de 350 a 700 rpm. Los discos de los molinos de rotación doble giran a más velocidad, entre 1200 y 7000 rpm. La alimentación se tritura previamente hasta un tamaño máximo de partícula de aproximadamente 1/2 pul (12 mm) y debe entrar con una velocidad uniforme controlada. Los molinos de frotación tratan de 1/2 a 8 Tn/h para dar productos que pasan a través de un tamiz de 200 mallas. La energía que se requiere depende en gran medida de la naturaleza de la alimentación y del grado de reducción alcanzado, y es mucho mayor que en los molinos y quebrantadores descritos hasta ahora. Los valores típicos están comprendidos entre 10 y 100 CV-h (8 a 80 kWh) por toneladas de producto.

GRÁFICO 4: Molino de Frotación



Fuente: OCON V., Elementos de ingeniería química./ ESPOC/2014

1.2.3.4 Molinos de volteo.

Una carcasa cilíndrica que gira lentamente alrededor de un eje horizontal, y está llena aproximadamente hasta la mitad de su volumen con un medio sólido de molienda, constituye un molino de volteo. La carcasa es generalmente de acero, con un recubrimiento de una lámina de acero de elevado contenido en carbono, porcelana o caucho. El medio de molienda son barras metálicas, en un molino de barras, cadenas o bolas de metal, caucho o madera en un molino de bolas, guijarros o esferas de porcelana o circonio en un molino de guijarros. Los molinos de volteo resultan inadecuados para la reducción intermedia y tina de materiales abrasivos.

En todos los molinos de volteo los elementos de molienda son elevados por la carcasa hasta cerca de la parte superior, desde donde caen sobre las partículas situadas debajo. La energía consumida en elevar los elementos de molienda es utilizada en reducir el tamaño de las partículas. En algunos molinos de volteo, como ocurre en un molino de barras, una gran parte de la reducción se realiza por rodadura-compresión y por frotación al descender las barras deslizándose y rodando unas con otras. Las barras de molienda son generalmente de acero, de 1 a 5 pul (25 a 125 mm) de diámetro, existiendo en todo momento varios tamaños en cualquier molino concreto.

1.2.3.4.1 Acción en los molinos de volteo.

La carga de bolas en un molino de bolas o en un tubular es tal que cuando el molino está parado las bolas ocupan aproximadamente la mitad del volumen del molino. La fracción de huecos en la masa de bolas, cuando están en reposo, es normalmente de 0,40. La molienda puede realizarse con sólidos secos pero es más frecuente que la alimentación sea una suspensión de partículas en agua, lo cual aumenta la capacidad y la eficacia del molino. Unas aberturas de descarga situadas en

posiciones adecuadas controlan el nivel de líquido en el molino, que deberá ser tal que la suspensión llene justamente el espacio de huecos en la masa de bolas.

Al girar el molino las bolas se adhieren a la pared del molino y son llevadas hasta cerca de la parte superior, donde despegan de la pared y caen al fondo para ser de nuevo elevadas. La fuerza centrífuga mantiene las bolas en contacto con la pared y entre ellas durante la etapa de ascenso. Mientras están en contacto con la pared, las bolas realizan algo de molienda deslizando y rodando entre ellas, pero la mayor parte de la molienda ocurre en la zona de impacto en la que las bolas que caen libremente chocan contra el fondo del molino.”¹¹

1.2.4 Operación del Equipo

“Para la adecuada selección y operación económica de las máquinas de reducción de tamaño es preciso cuidar muchos detalles .del procedimiento y del equipo auxiliar. No se puede esperar que un quebrantador, un molino o una cortadora funcionen satisfactoriamente excepto que (1) la alimentación sea de un tamaño adecuado y se introduzca con una velocidad uniforme; (2) que el producto se retire lo más pronto posible una vez que las partículas han alcanzado el tamaño deseado; (3) que el material que no es triturable se mantenga fuera de la máquina; y (4) que en el caso de productos de bajo punto de fusión o sensibles al calor se elimine el calor generado en la molienda. Por tanto, calentadores, enfriadores, separadores de metales, bombas y soplantes, así como alimentadores de velocidad constante, son importantes dispositivos complementarios de una unidad de reducción de tamaño.”¹²

1.2.4.1 Control de la alimentación.

La operación más importante para la reducción de tamaño es el control de la alimentación del molino. Las partículas de la alimentación han de tener un tamaño

¹¹ Mc CABE, W. OPERACIONES UNITARIAS EN INGENIERÍA QUÍMICA. 4ta ed. México. McGraw Hill

¹² Mc CABE, W. OPERACIONES UNITARIAS EN INGENIERÍA QUÍMICA. 4ta ed. México. McGraw Hill

apropiado. Evidentemente no han de ser tan grandes que no puedan ser rotas por el molino. Por otra parte, si una gran cantidad de partículas son muy finas, la eficacia de muchas máquinas, especialmente quebrantadora y trituradora, se reduce considerablemente. Con algunos sólidos, la compresión o el enfriamiento previo de la alimentación antes de su entrada en el molino aumenta considerablemente la facilidad de molienda del material.

1.2.4.2 Descarga del molino.

Para evitar la acumulación en un molino continuo es necesario que la velocidad de descarga sea igual a la velocidad de alimentación. Además, la velocidad de descarga ha de ser tal que las partes activas del molino puedan actuar sobre el material en la forma más eficaz. Por ejemplo, en un quebrantador de mandíbulas, las partículas se pueden recoger en la abertura de descarga y triturarse muchas veces antes de que salgan del sistema. Tal como se ha indicado anteriormente, esto dará lugar a un despilfarro de energía si el tamaño de muchas partículas se reduce más de lo necesario. Esta forma de operación de un quebrantador se realiza a veces deliberadamente y recibe el nombre de trituración obturada. Sin embargo, la máquina está generalmente diseñada para operar de tal forma que las partículas trituradas puedan salir fácilmente, posiblemente llevando algunas partículas grandes, que se separan después y se devuelven al sistema de reducción de tamaño.

En la descarga de molinos para molienda fina y ultra fina, la fuerza de gravedad es sustituida por el arrastre de un fluido portador. El fluido puede ser un líquido o un gas. La molienda húmeda con un líquido portador es frecuente en los molinos rotatorios. Esto provoca un mayor desgaste de las paredes de la cámara y del medio de molienda que cuando se opera en seco, pero disminuye el consumo de energía, aumenta la capacidad y simplifica la manipulación y clasificación del producto

1.2.4.3 *Consumo de energía.*

En las operaciones de reducción de tamaño se consumen grandes cantidades de energía, especialmente en la fabricación de cemento, molienda de carbón, rocas y pizarras, así como en la preparación de minerales para la obtención de acero y cobre. La reducción de tamaño es probablemente la menos eficaz de todas las operaciones básicas: alrededor de un 99 por 100 de la energía se utiliza en la operación del equipo, produciendo calor y ruido no deseados, quedando menos del 1 por 100 para la creación de nueva superficie.

1.2.5 *Sistema de Molienda*

1.2.5.1 *Elementos del proceso de molienda*

1.2.5.1.1 *Análisis del tamaño de partícula*

“La alimentación, recirculación y los productos resultantes de las operaciones de molienda se definen en relación con los tamaños de partícula involucrados. La descripción más completa de un material en polvo se realiza mediante su distribución de tamaños de partículas, que puede presentarse de forma tabular o gráfica. La presentación más sencilla es en forma lineal, con intervalos iguales de tamaño. Un polvo tiene diferentes tamaños promedio, así que es importante que estén bien especificados.

Se encuentran disponibles diferentes técnicas para medir el tamaño de partícula en materiales en polvo. El tamizado es quizá el método de análisis de uso más frecuente, porque el equipo, el procedimiento analítico y los conceptos básicos son

simples. En el tamizado, las partículas se ponen en contacto con aberturas del mismo tamaño que constituyen una serie de medidores pasa/no pasa.”¹³

1.2.5.1.2 *Tamaño de Partículas*

“Cuando la materia prima o una o más han sufrido procesos de reducción pueden ser clasificadas de acuerdo a su tamaño. En general, se clasifican de la siguiente forma:

- ✓ Material grueso: trozos de un tamaño mayor a 75 cm (30").
- ✓ Material mediano: trozos de un tamaño de 10 a 75 cm (4" a 30").
- ✓ Material fino: trozos de un tamaño menor a 10 cm (4").

Por otra parte, según el tamaño que tienen las partículas a la salida de las máquinas de desintegración, se pueden distinguir las distintas etapas de trituración y molienda; estas etapas son las siguientes:

a) Trituración (desintegración grosera)

- ✓ Trituración gruesa – tamaños de partículas de salida: 15 cm (6").
- ✓ Trituración mediana – tamaños de partículas de salida: entre 3 y 15 cm (1¼" a 6").
- ✓ Trituración fina – tamaños de partículas de salida: entre 0,5 y 3 cm (1/5" a 1¼").

b) Molienda (desintegración fina)

- ✓ Molienda grosera – tamaños de partículas de salida: entre 0,1 y 0.3 mm.
- ✓ Molienda fina – tamaños de partículas de salida: menores de 0,1 mm.

¹³ REAL HOJAS, Juan Augusto. DISEÑO DE UN SISTEMA PARA EL PROCESO DE MOLIENDA DE CARBON MINERAL PARA SER UTILIZADO COMO COMBUSTIBLE INDUSTRIAL. Guayaquil. 2006.

La trituración grosera, mediana y fina corresponden, prácticamente, a la primera, segunda y tercera etapa de trituración; mientras que la molienda grosera y fina corresponden a las etapas primaria y secundaria de la molienda.

Los tamaños de partículas se establecen en base a los diámetros de las mismas. Para un trozo de material se puede determinar, midiendo el ancho, espesor y largo del mismo, la media aritmética o geométrica del diámetro de acuerdo a las siguientes expresiones:¹⁴

$$\text{Tamaño medio aritmetico} = \frac{\text{ancho espesor largo}}{3} \quad \text{Ecuación 2}$$

$$\text{Tamaño medio geometrico} = \sqrt[3]{\text{ancho espesor largo}} \quad \text{Ecuación 3}$$

1.2.5.2 Leyes Sobre la Energía Aplicada en Molinos.

Se han propuesto varias leyes con objeto de relacionar la reducción de tamaño con una variable sencilla, la energía introducida al molino. Estas leyes se representan adecuadamente mediante una ecuación diferencial general:

$$dE = -C \frac{dX}{X^n} \quad \text{Ecuación 4}$$

Dónde:

E: trabajo realizado

X: tamaño de partícula

C y n: son constantes.

Para n= 1 la ecuación representa la ley de Kick.

¹⁴ REAL HOJAS, Juan Augusto. DISEÑO DE UN SISTEMA PARA EL PROCESO DE MOLIENDA DE CARBON MINERAL PARA SER UTILIZADO COMO COMBUSTIBLE INDUSTRIAL. Guayaquil. 2006.

Para $n=1.5$ la ecuación representa la ley de Bond.

Dicha ecuación mencionada anteriormente se utiliza en el cálculo de la reducción de tamaño en forma general en la cual relaciona la energía utilizada para obtener un diámetro de partícula determinado.

1.2.6 Leyes de la Trituración

1.2.6.1 Teoría de Rittinger

“La ley de desintegración propuesta por Rittinger en 1867 establece que “el trabajo que se requiere para la desintegración es proporcional a la nueva superficie creada”. Esta ley que realmente no es más que una hipótesis, es equivalente a establecer que la eficacia de desintegración η_c es constante y, para una máquina y material de alimentación dados, es independiente de los tamaños de la alimentación y del producto.

Siendo esta la Ley de Rittinger matemáticamente:

$$W = f(\phi) \quad \text{Ecuación 5}$$

$$\frac{dW}{d\phi} = K \left(\frac{1}{\phi} \right) \quad \text{Ecuación 6}$$

$$W = K \left[\left(\frac{1}{\phi_f} \right) - \left(\frac{1}{\phi_i} \right) \right] \quad \text{Ecuación 7}$$

Dónde:

W: Potencia del motor (HP)

K: Constante del Molino

ϕ_f : Diámetro de la partícula después de la desintegración (mm)

ϕ_i : Diámetro de la partícula antes de la desintegración (mm)

La teoría de Rittinger tiene una aplicación determinante dentro de la reducción de tamaño ya que relaciona el trabajo requerido para la desintegración con la superficie originada.”¹⁵

1.2.6.2 Ley de Bond:

“Un método algo más realista para estimar la energía necesaria para la trituración y molienda fue propuesta por Bond en 1952. Bond postuló que el trabajo que se requiere para formar partículas de un tamaño D_p , a partir de una alimentación muy grande es proporcional a la raíz cuadrada de la relación superficie a volumen del producto, S_p/V_p . se deduce:

$$\frac{P}{\dot{m}} = \frac{K_b}{\sqrt{D_p}} \quad \text{Ecuación 8}$$

Dónde:

K_b = una constante que depende del tipo de máquina y del material que se tritura.

La ley de Bond aplica su ecuación determinando la relación entre el tamaño de partícula con la raíz cuadrada de la relación de superficie a volumen del producto obtenido.”¹⁶

1.2.6.3 Ley de Kick

“En 1885 Kick propuso otra ley, basada en el análisis de esfuerzos de la deformación plástica dentro del límite de elasticidad, y establece que el trabajo que se requiere para triturar una masa dada de material es constante para la misma

¹⁵ Mc CABE, W. OPERACIONES UNITARIAS EN INGENIERÍA QUÍMICA. 4ta ed. México. McGraw Hill

¹⁶ Mc CABE, W. OPERACIONES UNITARIAS EN INGENIERÍA QUÍMICA. 4ta ed. México. McGraw Hill

relación de reducción, o sea, la relación entre el tamaño inicial de las partículas y el tamaño final de las mismas.

$$W = B \log \frac{L_i}{L_f} \quad \text{Ecuación 9}$$

Donde:

W: Índice de trabajo

B: Constante que depende del tipo de máquina y del material a desintegrar.

L_i : Tamaño de la partícula antes de la desintegración (mm)

L_f : Tamaño de la partícula después de la desintegración (mm)

La ecuación 10 es utilizada para el cálculo de la reducción de tamaño relacionando el trabajo requerido con el tamaño tanto inicial como final de las partículas.”¹⁷

1.2.7 Eficiencia de los Procesos de Molienda.

“La eficiencia respecto a la energía de una operación de molienda se define como la energía que se consume en comparación con la energía ideal requerida.

La eficiencia energética teórica de operaciones de molienda está entre el 0,06 al 1 por 100, basándose en valores de la energía superficial del cuarzo. La incertidumbre en estos resultados se debe a la incertidumbre misma de la energía superficial teórica.

La eficiencia energética práctica se define como la eficiencia de la molienda técnica en comparación con los experimentos de trituración en el laboratorio.”¹⁸

¹⁷ Mc CABE, W. OPERACIONES UNITARIAS EN INGENIERÍA QUÍMICA. 4ta ed. México. McGraw Hill

¹⁸ REAL HOJAS, Juan Augusto. DISEÑO DE UN SISTEMA PARA EL PROCESO DE MOLIENDA DE CARBON MINERAL PARA SER UTILIZADO COMO COMBUSTIBLE INDUSTRIAL. Guayaquil. 2006.

1.2.8 La Molturabilidad.

“La molturabilidad es la cantidad de producto de un molino en particular que satisface una especificación dada por unidad de tiempo de molienda. (Por ejemplo, toneladas/hora atravesando una malla 500), por lo que se lo relaciona con la velocidad de molienda de un material para un molino en concreto. El principal propósito del estudio de la molturabilidad consiste en evaluar el tamaño, el tipo de molino que se requiere para producir un tonelaje específico y las necesidades de energía para la molienda.”¹⁹

1.3 Diseño

“La desintegración mecánica es un término genérico de reducción de tamaño. Las quebrantadoras y los molinos son tipos de equipos de desintegración. Una quebrantadora o molino ideal deben tener:

- Una gran capacidad
- Requerir poco consumo de energía por unidad de producto
- Dar lugar a un producto de un único tamaño, o distribución de tamaños, que se desee.

El método habitual para estudiar el comportamiento del equipo de proceso es establecer una operación ideal como patrón y comparar las características del equipo real con las de la unidad ideal, observando la diferencia entre ambas. Cuando se aplica este método al equipo de desintegración y molienda, las diferencias entre la unidad ideal y la real son muy grandes y, a pesar de los amplios estudios realizados, no se han aclarado totalmente las deficiencias. Por otra parte, se han desarrollado correlaciones empíricas útiles para predecir el comportamiento del equipo a partir de la incompleta teoría disponible.

¹⁹ REAL HOJAS, Juan Augusto. DISEÑO DE UN SISTEMA PARA EL PROCESO DE MOLIENDA DE CARBON MINERAL PARA SER UTILIZADO COMO COMBUSTIBLE INDUSTRIAL. Guayaquil. 2006.

Las capacidades de las máquinas de desintegración se tratarán al describir los distintos tipos de equipos. Sin embargo, los aspectos fundamentales de la forma y tamaño del producto, así como el consumo de energía, son comunes a la mayor parte de las máquinas y se pueden considerar de una forma más general. Características de los productos triturados. El objetivo de la trituración y molienda es producir pequeñas partículas a partir de otras más grandes. Las partículas más pequeñas son deseables por su gran superficie o bien por su forma, tamaño y número.

Contrariamente a un triturador o molino ideal, una unidad real no da lugar a un producto uniforme, con independencia de que la alimentación sea o no de tamaño uniforme. El producto siempre consta de una mezcla de partículas, con tamaño variable desde un máximo definido hasta un mínimo submicroscópico. Algunas máquinas, especialmente en el caso de molinos, están diseñadas para controlar el tamaño de las partículas más grandes en sus productos, pero en cambio las más finas no están bajo control. En algunos tipos de molinos los tinos se reducen a un mínimo, pero no se eliminan totalmente. Si la alimentación es homogénea, tanto por lo que se refiere al tamaño de las partículas como a su estructura física y química, las formas de las distintas partículas de los productos pueden ser bastante uniformes; en caso contrario, las proporciones de los granos en los distintos tamaños de un solo producto pueden variar considerablemente.”²⁰

1.3.1 Grado de desintegración

El coeficiente de reducción que se obtiene en las máquinas de trituración (trituradoras) o de molienda (molinos) se denomina grado de desintegración y se define como la relación entre los tamaños máximos de las partículas a la entrada y salida de la máquina.

²⁰ Mc CABE, W. OPERACIONES UNITARIAS EN INGENIERÍA QUÍMICA. 4ta ed. México. McGraw Hill

El grado de desintegración (Σ) se expresa de la siguiente manera:

$$\Sigma = \frac{D_{\text{inicial}}}{D_{\text{final}}} \quad \text{Ecuación 10}$$

Dónde:

D_{inicial} : diámetro inicial (m)

D_{final} : diámetro final (m)

La ecuación 4 nos proporciona información donde se puede calcular el grado de desintegración o coeficiente de reducción para cada una de las máquinas que se apliquen en la reducción del tamaño.

El grado de desintegración en trituración se encuentra acotado entre 2 y 15.

$$2 \leq \Sigma_{\text{trituración}} \leq 15$$

1.4 Potencia

“La potencia de un motor depende exclusivamente del torque que produzca el mismo en cuanto a la velocidad angular.

Se tiene:

$$W_{\text{requerida}} = T * \omega \quad \text{Ecuación 11}$$

Dónde:

$W_{\text{requerida}}$ = potencia requerida

T= torque

ω = velocidad angular

Dicha ecuación nos permite realizar el cálculo de la potencia requerida en base de la velocidad angular la cual es tomada de las gamas de velocidades de motores que existen en el mercado.

En cuanto al cálculo del torque que produce la picadora al efectuar la operación de picado se debe conocer que la mayor parte de la materia utilizada presentan un bajo esfuerzo de corte cuando se trata de materia prima húmeda, pero cuando el material es seco el esfuerzo que presentan es mayor, por la fibrosidad y dureza del mismo, teniendo una consideración del material con que se construyan las cuchillas, tanto como los martillos.

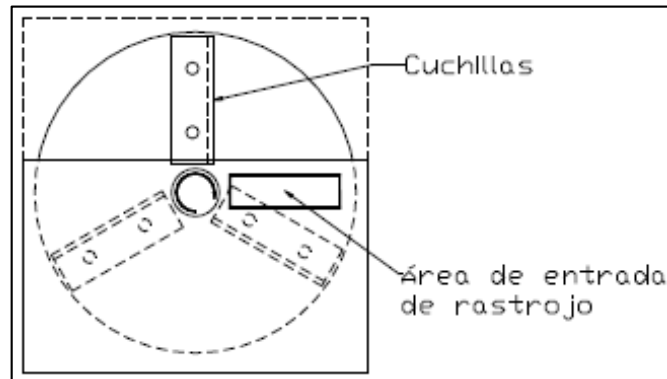
Para calcular la potencia requerida, se procede a dimensionar el sistema de acuerdo al flujo de materia prima empleado y la cantidad de materia a producir.

En cuanto a la velocidad del motor este será de 1730 RPM, debido a que se necesita un número alto de revoluciones para mantener cierta regularidad en los cortes efectuados, la energía cinética que produce el sistema tendrá gran utilidad porque en el sistema de martillos porque esta mantendrá la posición del martillo mediante la fuerza centrífuga para poder realizar la operación.

Por las características indicadas de la materia a tratar se tiene que la picadora contara con un disco que está girando a 1730 RPM, en la cual contara con un juego de cuchillas de 16 martillos con una longitud de 76,2 mm, un ancho de 25,4 mm y un espesor de corte de 9 mm.”²¹

²¹ Mc CABE, W. OPERACIONES UNITARIAS EN INGENIERÍA QUÍMICA. 4ta ed. México. McGraw Hill

GRÁFICO 5 Martillos



Fuente: ZAMBRANO L., Tesis de grado./ ESPOL/2004

Con las dimensiones de las cuchillas determinadas tenemos que:

$$V = 16(L * a * e) \quad \text{Ecuación 12}$$

Dónde:

L: longitud de la cuchilla (m)

a: ancho de cada cuchilla (m)

e: espesor de cada cuchilla (m)

16: número de cuchillas

La ecuación 16 determina el volumen de producción por vuelta del equipo en cuanto al uso de la materia prima.

Una vez que se determina el volumen de producción por vuelta, se determina el volumen de producción diaria para lo cual se tiene:

$$V_{\text{producción}} = V * \text{rpm} \quad \text{Ecuación 13}$$

Dónde:

V: volumen de producción (m³/revolución)

rpm: revoluciones por minutos (revolución/ minuto)

La ecuación 17 se utiliza para la determinación del volumen de producción diario que se tiene para el equipo.

1.4.1 Eficacia de la desintegración.

La relación entre la energía superficial creada por la desintegración mecánica y la energía absorbida por el sólido es la eficacia de desintegración η_c . Si e_s , es la energía superficial por unidad de área, en pies por libra fuerza por pie cuadrado, y A_{wb} y A_{wa} son las áreas por unidad de masa de producto y de alimentación, respectivamente, la energía absorbida por una unidad de masa de material W_n , es

$$W_n = \frac{e_s(A_{wb}-A_{wa})}{\eta_c} \quad \text{Ecuación 14}$$

La energía superficial creada por fractura es pequeña en comparación con la energía mecánica total almacenada en el material en el momento de la ruptura, y la mayor parte de esta última se convierte en calor. Por tanto, las eficacias de trituración son bajas. Se han medido experimentalmente estimando e_s , a partir de teorías del estado sólido, midiendo W_n , A_{wb} y A_{wa} y sustituyendo en la Ecuación anterior. La precisión del cálculo es mala, principalmente debido a las incertidumbres en el cálculo de e_s , pero los resultados indican que las eficacias de trituración están comprendidas en el intervalo de 0,06 a 1 por 100^{7a}.

La energía absorbida por el sólido W_n , es menor que la comunicada por la máquina. Parte de la entrada total de energía W_n se utiliza para vencer la fricción en los cojinetes y otras partes móviles, y el resto queda disponible para trituración. La relación entre la energía absorbida y la entrada de energía es la eficacia mecánica, η_m . Por tanto, si W_n es la entrada de energía,

$$W = \frac{W_n}{\eta_m} = \frac{e_s(A_{wb}-A_{wa})}{\eta_m \eta_c} \quad \text{Ecuación 15}$$

Si \dot{m} es la velocidad de alimentación, la potencia consumida por la máquina es:

$$P = W \dot{m} = \frac{\dot{m} e_s (A_{wb} - A_{wa})}{\eta_m \eta_c} \quad \text{Ecuación 16}$$

Calculando A_{wb} y A_{wa}

$$P = \frac{6 \dot{m} e_s}{\eta_m \eta_c \rho_p} \left(\frac{1}{\phi_b \bar{D}_{sb}} - \frac{1}{\phi_a \bar{D}_{sa}} \right) \quad \text{Ecuación 17}$$

Dónde:

\bar{D}_{sa} , \bar{D}_{sb} = diámetro/medio volumen-superficie de la alimentación y el producto, respectivamente

ϕ_a , ϕ_b = esfericidad de la alimentación y el producto, respectivamente

ρ_p = densidad de la partícula

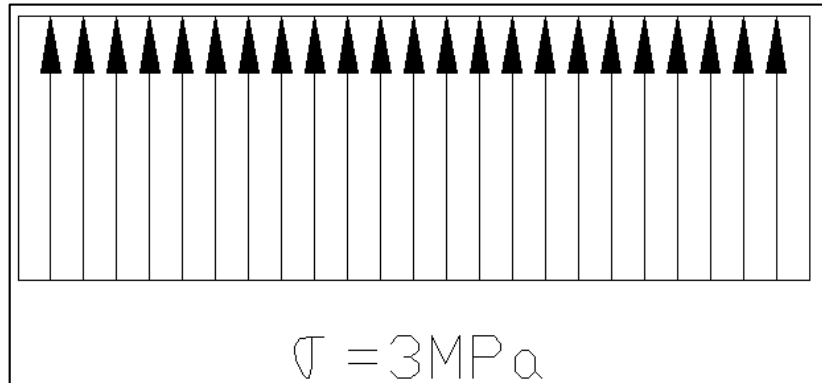
La presente fórmula estima el consumo total de energía requerido para el funcionamiento del equipo reductor de tamaño, en función del tamaño y densidad de partícula.

1.4.2 Fuerza

“El esfuerzo se distribuye de acuerdo a la figura indicada, por lo que la fuerza de corte es también distribuida, aunque si se analiza el corte partiendo de que el corte es radial, la distribución de fuerzas sería de forma triangular, desde el extremo más alejado como la menor fuerza y el más próximo al radio mínimo con la fuerza máxima.

Para los cálculos requeridos asumimos el esfuerzo encontrado en pruebas realizadas, del cual determinamos la fuerza requerida, para realizar la operación de picado

GRÁFICO 6 Fuerzas de corte



Fuente: ZAMBRANO L., Tesis de grado./ ESPOL/2004

El valor del esfuerzo que se encontró en pruebas realizadas es $\sigma_{\text{prueba}} = 3 \times 10^6 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$ por lo cual se tiene:

$$\sigma_{\text{prueba}} = \frac{F}{A} \quad \text{Ecuación 18}$$

Dónde:

σ_{prueba} = valor del esfuerzo

F = fuerza requerida

A = área

La ecuación 16 permite con factibilidad el cálculo de la fuerza requerida para la maquina en base al valor del esfuerzo que está realizando la misma dentro de un área determinada.”²²

1.4.3 Torque

“Con el valor de la fuerza requerida calculado, se procede al cálculo del torque mediante lo siguiente:

²² ZAMBRANO, Luis Ramón. DISEÑO DE UNA MAQUINA PICADORA DE RASTROJO, PARA PRODUCCION DE ABONO ORGANICO. Guayaquil. 2004

$$T = F * r \quad \text{Ecuación 19}$$

Dónde:

T=torque (J)

F= fuerza (N)

r= radio medido desde el origen hasta la ubicación de la carga. (m)

Con dicha ecuación procedemos a calcular el torque que necesita el motor para realizar el picado del material.”²³

²³ ZAMBRANO, Luis Ramón. DISEÑO DE UNA MAQUINA PICADORA DE RASTROJO, PARA PRODUCCION DE ABONO ORGANICO. Guayaquil. 2004

2 PARTE EXPERIMENTAL

2.1 Metodologías

2.1.1 Plan de Muestreo

El proyecto de elaboración de geles de protección solar cuenta con 4 operaciones fundamentales siendo estas: Secado, Molienda, Extracción, y Agitación y Mezclado

La selección previa de la materia prima para todo el proceso corresponde a la etapa de secado la cual se encarga de elegir el material más apto para el proceso.

Para llevar a cabo la Operación Unitaria de Molienda se emplea una picadora de martillos en la cual se obtiene el material granulado de berro, zanahoria y espinaca se realiza la recolección y selección del material previamente deshidratado como producto final de la etapa de secado mediante un secador tipo armario.

El material recolectado es colocado en la tolva de alimentación de la picadora con una capacidad de 10 kg/h en donde se inicia el proceso de acuerdo al diámetro deseado y parámetros de trabajo necesarios de la operación.

2.1.2 Métodos y técnicas

2.1.2.1 Métodos

El estudio propuesto de este proyecto de investigación tiene un carácter explicativo y experimental con el fin de obtener apropiadamente la metodología necesaria mediante la implementación del proyecto de diseño, selección y aplicación de todas las herramientas y componentes necesarios para la molienda de la zanahoria, berro

y espinaca; en respuesta a las posibles interrogantes que se puedan presentar en el transcurso de la operación unitaria.

2.1.2.1.1 Método inductivo

Este método parte desde lo simple a lo más complejo, a partir del muestreo en los diferentes mercados de la ciudad de Riobamba y su posterior picado de vegetales se obtuvo la potencia del motor necesaria, el diámetro de partícula necesaria y el caudal másico requerido se obtendrá las diferentes variables de proceso y de ingeniería, los cuales se convierten en nuestros datos de partida para el dimensionamiento del equipo reductor de tamaño para berro, espinaca y zanahoria empleado.

Por medio de los diferentes cálculos de ingeniería presentes en el sistema propuesto que no cuenta con ningún tipo de reacción química, debido a que solo ocurre cambio físico se obtendrá las especificaciones de las variables así como también sus valores, la potencia del motor necesario, el diámetro de partícula y el caudal másico requerido, a través de los diferentes ensayos que se llevarán a cabo en el Laboratorio de Operaciones Unitarias en la picadora empleada.

2.1.2.1.2 Método deductivo

Para el debido dimensionamiento del equipo reductor de tamaño de berro, espinaca y zanahoria debemos conocer en primer lugar todas sus características de manera general para poco a poco ir conociendo y entendiendo cada una de ellas con lo cual de esta manera realizamos los respectivos cálculos de ingeniería cuya aplicación permitirá la búsqueda de límites de las variables operaciones del sistema de deshidratado.

2.1.2.1.3 Método descriptivo

Con la validación de la picadora de martillos en el Laboratorio de Procesos Industriales mediante técnicas de laboratorio, la máquina pica tanto al berro, espinaca y zanahoria a un diámetro comprendido entre 0,5 a 1 cm para así esta ser utilizada en una siguiente línea del proceso tal cual es la extracción.

Para realizar los diferentes cálculos y dimensionamiento del equipo es necesario la recopilación de datos los cuales son tomados de las diferentes técnicas o ensayos que se realizan anticipadamente para su cálculo.

Por lo cual se procede a la observación de los diferentes fenómenos que suceden dentro de la toma de datos lo cual se lo realiza en forma sensorial.

2.1.2.2 Técnicas

Se utilizan técnicas para la recopilación de información como las siguientes:

- ✓ Observaciones
- ✓ Simulaciones

2.1.2.2.1 Determinación de zanahoria, berro y espinaca seca como materia prima.

CUADRO 1: DETERMINACIÓN DE MATERIA PRIMA

FUNDAMENTO	MATERIALES	TÉCNICA	CÁLCULO
<p>La materia prima utilizada debe contener un porcentaje de humedad como base del 10% procedente del secador tipo armario del primer proceso en la línea de producción. El secado de la zanahoria, berro y espinaca se realiza en el equipo seleccionado siguiendo el procedimiento indicado.</p>	<p>Recipientes Secador tipo Armario Balanza Guantes Zanahoria, Berro, Espinaca Cuchillo Cofia Papel Aluminio</p>	<p>Para el secado se procede de la siguiente manera: Realizar la limpieza del secador tipo armario. Una vez limpias las bandejas se proceden a cubrirlas con papel aluminio. Lavar la zanahoria, el berro y la espinaca con agua hasta eliminar todo tipo de impurezas impregnadas en las mismas. En el caso del berro y espinaca se procede a deshojar tratando de que las hojas queden completas y libres del pedúnculo; para el caso de la zanahoria se procede a realizar cortes de las misma la cual tendrá un área apta y requerida por el equipo para reducir su tamaño. Colocar la materia prima en cada una de las bandejas y determinar la temperatura de 65C en el secador para proceder a secar la misma. Tomar datos de los pesos cada hora hasta obtener un material seco listo y apto para ser reducido de tamaño.</p>	$X = \frac{P_{SH} - P_{SS}}{P_{SS}}$ <p>Dónde: X= Humedad P_{SH} = Peso solido húmedo. P_{SS}= Peso solido seco.</p>

Fuente: BRITO H., Técnica Guía Laboratorio Operaciones Unitarias./ ESPOCH/2014

2.1.2.2.2 Determinación del porcentaje de rendimiento de la molienda

CUADRO 2: DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE RENDIMIENTO DE LA MOLIENDA

FUNDAMENTO	MATERIALES	TÉCNICA	CÁLCULO
<p>El objetivo de la operación de molienda o trituración es reducir el tamaño inicial del material para obtener un diámetro de partícula adecuado y deseado.</p>	<p>Picadora. Balanza. Cronómetro. Recipiente para recolección de producto final. Brocha pequeña para la limpieza del equipo y sus alrededores. Materia Prima.</p>	<p>Utilizar elementos de protección personal (EPP) antes de realizar el procedimiento. Pesar la materia prima a ser triturada. Conectar el equipo a una fuente de corriente eléctrica a 110V. Encender el equipo Colocar un recipiente en la parte baja del triturador para recibir el producto ya molido. Colocar la materia prima en la tolva de alimentación de una manera continua. Tomar los tiempos de trituración para cada una de las muestras a ser trituradas. Una vez terminada la operación de reducción se toma el peso final del producto para poder calcular el porcentaje de pérdidas en el proceso. Desconectar la picadora de la fuente eléctrica. Utilizar materiales adecuados para realizar la limpieza del equipo.</p>	$\%R = \frac{P}{P_i} \times 100$ <p>Dónde: P_i= Peso inicial de la muestra, Kg. P_f= Peso final de la muestra después de la trituración, Kg.</p>

Fuente: BRITO H., Técnica Guía Laboratorio Operaciones Unitarias./ ESPOCH/2014

2.1.2.2.3 Determinación de la densidad de la materia prima

CUADRO 3: DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD

FUNDAMENTO	MATERIALES	TÉCNICA	CÁLCULO
<p>En física y química, la densidad (símbolo ρ) es una magnitud escalar referida a la cantidad de masa en un determinado volumen de una sustancia.</p> <p>La espinaca es un alimento del reino vegetal dentro de la dieta del hombre, de la familia <i>amaranthaceae</i>, género <i>spinacia</i> y especie <i>oleracea</i>.</p> <p>La zanahoria constituye un alimento de procedencia vegetal que forma parte de la dieta del hombre, de la familia <i>apiaceae</i>, género <i>daucus</i> y especie <i>carota</i></p>	<p>Muestras de materia prima (zanahoria, berro y espinaca)</p> <p>Probeta 250ml</p> <p>Balanza</p> <p>Cronometro</p> <p>Flexómetro</p>	<p>Pesar cada una de las muestras de la materia prima y sacara un promedio.</p> <p>Colocar en la probeta 200 ml de agua y medir el desplazamiento del líquido cuando se introduce la materia prima.</p> <p>Calcular la densidad del sólido.</p>	$\rho_{\text{sólido}} = \frac{m_s}{V_d}$ <p>Donde:</p> <p>$\rho_{\text{sólido}}$ = densidad del sólido.</p> <p>$m_{\text{sólido}}$ = masa del sólido</p> <p>V_d = volumen desplazado</p>

Fuente: BRITO H., Técnica Guía Laboratorio Operaciones Unitarias./ ESPOCH/2014

2.2 Datos de diseño

2.2.1 Diagnóstico

El abastecimiento de la materia prima utilizada en el presente estudio tiene un tiempo de vida en los mercados visitados tales como: Mercado de Productores Mayorista, La Condamine, San Alfonso y Dávalos; es aproximadamente de dos semanas para el caso de la zanahoria, mientras que para la espinaca cinco días y el berro de dos días, considerando que pasado este lapso de tiempo pierden su frescura y los compuestos de interés pueden empezar el proceso de descomposición quedando indispuestos para el proceso de extracción.

Los ensayos realizados proporcionaron datos como temperaturas, peso, tiempo de extracción, volumen de aceite obtenido con el fin de determinar las condiciones más óptimas durante el proceso de extracción. La línea en el proceso de producción inicia con el secado, molienda, extracción y mezclado que tiene como finalidad obtener una crema de protección solar.

Para proceder en el diseño de la picadora se obtuvo datos, los cuales nos ayudan a determinar las diferentes variables del proceso como por el ejemplo el flujo másico de alimentación.

En lo que respecta a tiempos de molienda o trituración está directamente relacionado con la parte física de la materia prima, es decir tanto con su área de superficie a triturar, dureza, y demás características físicas que determinaran su estancia en el equipo.

2.2.2 Datos Experimentales

Tabla 4: Datos para proceso de Trituración

Producción diaria de producto (kg/día)	Capacidad del equipo (kg/día)
1200	240

Fuente: PATIÑO C./ OCAMPO A., Laboratorio de Procesos Industriales./ ESPOCH/2014

Tabla 5: Diámetros de Zanahoria a Picar

n	ϕ (m)
1	0,055
2	0,034
3	0,027
4	0,067
5	0,053
6	0,061
7	0,041
8	0,0048
9	0,069
10	0,074

Fuente: PATIÑO C./ OCAMPO A., Laboratorio de Procesos Industriales./ ESPOCH/2014

Tabla 6: Componentes de Materia Prima

Material	Peso (kg/h)	Carotenoides (kg)	Peso Total Carotenoides (kg)	Carotenoides Gel Solar (kg)	%
Zanahoria	8	0,0000356	0,0002848	0,000295	73,00
Berro	1	0,0000049	0,0000049	0,0000047	8,00
Espinaca	1	0,0000263	0,0000263	0,0000255	19,00
Total	10	0,0000312	0,000316	0,0003252	100,00

Fuente: PATIÑO C./ OCAMPO A., Laboratorio de Procesos Industriales./ ESPOCH/2014.

Tabla 7: Datos de densidad

Masa de solido m_s (kg)	Volumen desplazado V_d (m³)
0,6233	0,00063

Fuente: PATINO C./ OCAMPO A., Laboratorio de Procesos Industriales./ ESPOCH/2014

Tabla 8: Datos de Pesos de Materia Prima

Peso inicial (kg)	Peso finos (kg)
0,200	0,008

Fuente: PATINO C./ OCAMPO A., Laboratorio de Procesos Industriales./ ESPOCH/2014

Tabla 9: Datos de Tamices

n	Luz de malla (m)	P₁ (kg)	P₂ (kg)	R (kg)
1	0,01	0,4597	0,4612	0,00149
2	0,0075	0,3863	0,4006	0,0143
3	0,005	0,2969	0,4105	0,1636
4	finos	0,2824	0,303	0,0206
TOTAL				0,1863

Fuente: PATINO C./ OCAMPO A., Laboratorio de Procesos Industriales./ ESPOCH/2014

Tabla 10: Datos de Tolva de alimentación

Ancho a (m)	Base b (m)	Altura h (m)
0,15	0,25	0,03

Fuente: PATIÑO C./ OCAMPO A., Laboratorio de Procesos Industriales./ ESPOCH/2014

Tabla 11: Costos de Producción

DENOMINACION	CANTIDAD (kg)	VALOR UNITARIO	LIMPIEZA	DESHIDRATADO	TOTAL (\$)
BERRO	1	0,5	0,85	0,75	2,10
ESPINACA	1	0,75	0,80	0,75	2,30
ZANAHORIA	8	0,40	1,10	0,75	18,00
ELECTRICIDAD (kw)	1,5	0,2	-	-	0,3
TOTAL					22,70

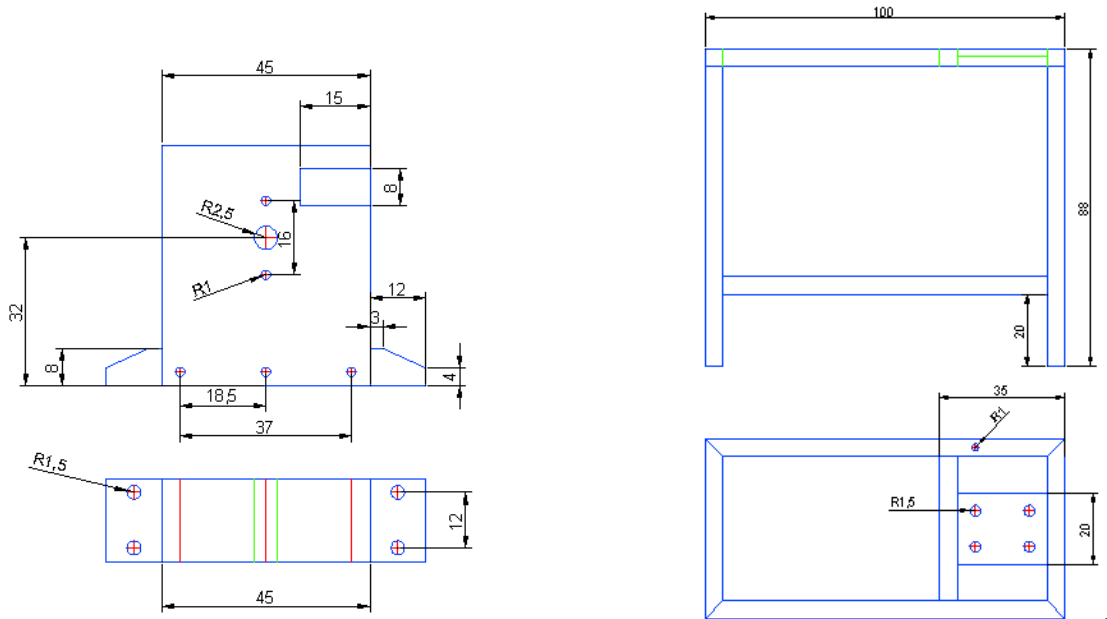
Fuente: PATIÑO C./ OCAMPO A., Laboratorio de Procesos Industriales./ ESPOCH/2014

Tabla 12: Datos para dimensionamiento de Picadora

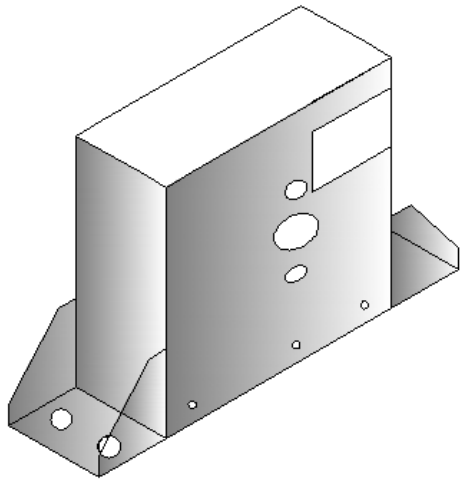
ESPECIFICACIÓN TÉCNICA	INDICADOR
Tolva de alimentación inoxidable AISI 304 L 2B	1
Tolva de descarga acero inoxidable AISI 304 L 2B	1
Discos trituradores	2
Relación de transmisión	1-1.2
Voltaje	110 V
Anchura de las cuchillas	25,4 mm
Longitud de las cuchillas	76,2 mm
Espesor de las cuchillas	9 mm
Numero de cuchillas	3
Número de martillos	16
Velocidad máxima	1730 rpm
Motor monofásico	2 hp
Radio de cuchilla	15,5 mm

Fuente: PATIÑO C./ OCAMPO A., Laboratorio de Procesos Industriales./ ESPOCH/2014

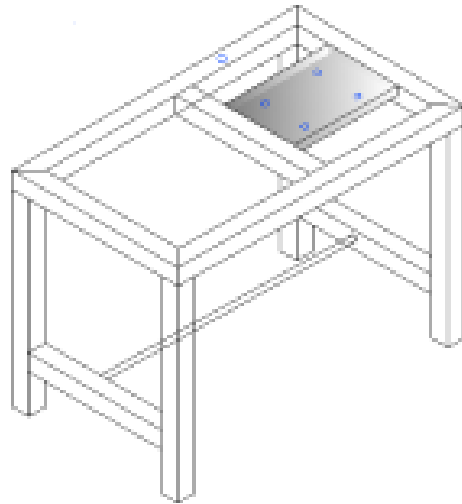
PLANOS DE BASE Y CUBIERTA DE ZONA DE MARTILLOS



CUBIERTA



BASE DE PICADORA



CAPITULO III

3 CÁLCULOS Y RESULTADOS

3.1 Cálculos

3.1.1 *Determinación del diámetro inicial*

De la tabla 5:

$$\phi_i = \sum_{i=1}^n \frac{\phi_i}{n}$$

$$\phi_i = \frac{0,055 + 0,034 + 0,027 + 0,067 + 0,053 + 0,061 + 0,041 + 0,0048 + 0,069 + 0,074}{10}$$

$$\phi_i = 0,049 \text{ m}$$

3.1.2 *Determinación del área de entrada entre cada martillo*

De la tabla 6:

$$A_m = L * a$$

$$A_m = 0,0762 * 0,0254$$

$$A_m = 0,0019355 \text{ m}^2$$

3.1.3 *Determinación del volumen de la tolva de alimentación*

De la tabla 7:

$$V_T = a \times b \times h$$

$$V_T = 0,15 \times 0,25 \times 0,03$$

$$V_T = 0,00125 \text{ m}^3$$

3.1.4 *Determinación de la densidad de la materia prima*

De la tabla 9:

$$\rho_{\text{solido}} = \frac{m_s}{V_d}$$

$$\rho_{\text{solido}} = \frac{0,6233}{0,000063}$$

$$\rho_{\text{solido}} = 9893,65 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

3.1.5 *Determinación del volumen de producción diario requerido*

Del dato de alimentación requerido en la máquina de $\frac{10\text{kg}}{\text{h}}$:

$$V_{\text{produccion}} = \frac{10\text{kg}}{\text{h}}$$

$$V_{\text{produccion}} = 10 * 24 * \frac{1}{9893,65}$$

$$V_{\text{produccion}} = 0,0243 \frac{\text{m}^3}{\text{dia}}$$

3.1.6 *Determinación del volumen de producción por vuelta*

De la Ecuación 12:

$$V = 16(L * a * e)$$

$$V = 16 * (0,0762 * 0,0254 * 0,009)$$

$$V = 0,000278 \frac{\text{m}^3}{\text{revolución}}$$

3.1.7 Determinación del volumen de producción por día

De la Ecuación 13:

$$V_{\text{produccion}} = V * \text{rpm}$$

$$\text{rpm} = 1730 * 60 * 24$$

$$\text{rpm} = 2491200 \frac{\text{rev}}{\text{dia}}$$

$$V_{\text{producción}} = 0,000278 * 2491200$$

$$V_{\text{producción}} = 692,5536 \frac{\text{m}^3}{\text{dia}}$$

3.1.8 Determinación de la fuerza requerida

3.1.8.1 Determinación del área

De la tabla 7:

$$A = L * e$$

$$A = 0,0762 * 0,009$$

$$A = 0,0006858\text{m}^2$$

3.1.8.2 Determinación de la fuerza requerida

De la Ecuación 18:

$$F = A * \sigma_{\text{prueba}}$$

$$F = 0,0006858 * 3 \times 10^6$$

$$F = 2057,4 \text{ N}$$

3.1.9 *Determinación del torque*

De la Ecuación 19 y la tabla 7:

$$T = F * r$$

$$T = 2057,4 * 0,0155$$

$$T = \text{Nm}$$

$$T = 31,8897 \text{ J}$$

3.1.10 *Determinación de la velocidad angular*

De la tabla 7:

$$\omega = 1730 \frac{\text{rev}}{\text{min}} \times \frac{1\text{min}}{60 \text{ s}}$$

$$\omega = 28,8333 \frac{\text{rev}}{\text{s}}$$

3.1.11 *Determinación de la potencia del motor*

De la Ecuación 11:

$$W_{\text{requerida}} = T * \omega$$

$$W_{\text{requerida}} = 31,8897 * 28,8333$$

$$W_{\text{requerida}} = 919,4853 \text{ Watt}$$

$$1\text{hp} = 746 \text{ watt}$$

$$hp = \frac{919,4853}{746}$$

$$hp = 1,2326 \text{ hp}$$

Factor de seguridad= 20%

$$hp = 1,2326 * 0,20$$

$$hp = 1,47912 \text{ hp}$$

$$W_{requerida} = 1,47912 * 746$$

$$W_{requerida} = 1103,4235 \text{ watt}$$

3.1.12 Determinación de producto neto

De la tabla 10:

$$P = \text{Peso inicial} - \text{Peso finos}$$

$$P = 0,200 - 0,0206$$

$$P = 0,1794 \text{ Kg}$$

3.1.13 Determinación del grado de desintegración

De la Ecuación 10:

$$\sum = \frac{D_{inicial}}{D_{final}}$$

$$\sum = \frac{0,074}{0,0115}$$

$$\sum = 6,434$$

3.1.14 Determinación del porcentaje de rechazo

De la tabla 11 y el dato del cálculo 3.1.12:

$$\% \text{Rechazo} = \frac{R}{P} \times 100$$

$$\% \text{Rechazo} = \frac{0,1636}{0,1794} \times 100$$

$$\% \text{Rechazo} = \mathbf{91,193\%}$$

3.1.15 Determinación del rendimiento del equipo

Del cuadro 2:

$$\%R = \frac{P}{P_i} \times 100$$

$$\%R = \frac{0,1794}{0,200} \times 100$$

$$\%R = \mathbf{89,7\%}$$

3.1.16 Determinación de la eficiencia del equipo

$$\varepsilon = \frac{W_{requerido}}{W_{teorico}} * 100\%$$

$$W_{requerido} = 1103,4235 * 600$$

$$W_{requerido} = 662054,1$$

$$W_{teorico} = 2 * 746 * 600$$

$$W_{teorico} = 895200$$

$$\varepsilon = \frac{662054,1}{895200}$$

$$\varepsilon = \mathbf{73,96\%}$$

3.2 Resultados

Tabla 13: Resultados del Equipo

Muestra	A_m (m)	V_T (m ³)	F (N)	T (J)	ω $\left(\frac{rev}{s}\right)$	$W_{requerida}$ (hp)	ϵ (%)
Material molido	0,0019355	0,00125	2057,4	31,8897	28,8333	1,2326	73,96

Fuente: PATINO C./ OCAMPO A., Laboratorio de Procesos Industriales./ ESPOCH/2014

Tabla 14 Resultados del Material Molido

Muestra	\varnothing_i (m)	ρ_{solido} $\left(\frac{kg}{m^3}\right)$	$V_{produccion}$ $\left(\frac{m^3}{dia}\right)$	V $\left(\frac{m^3}{revolucion}\right)$	Σ
Material molido	0,052	9893,65	692,5536	0,000278	6,434

Fuente: PATINO C./ OCAMPO A., Laboratorio de Procesos Industriales./ ESPOCH/2014

Tabla 15 Resultados de Tamices

n	Luz de malla (m)	% Rechazo	P (Kg)	P_{finos} (kg)	% R
1	0,01	0,836	0,1794	0,0206	89,7
2	0,0075	7,971			
3	0,005	91,193			

Fuente: PATINO C./ OCAMPO A., Laboratorio de Procesos Industriales./ ESPOCH/2014

3.3 Propuesta

3.3.1 Requerimiento presupuestario

3.3.1.1 Análisis de costos

3.3.1.1.1 Recursos materiales

Tabla 16: RECURSOS MATERIALES

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO UNIDAD	TOTAL (\$)
Tolva de alimentación	1	50	50
Tolva de descarga	1	50	50
Motor 2 Hp	1	350	300
Bandas giratorias	1	30	30
Material Construcción	1	200	200
Material eléctrico	1	40	40
Malla de protección	1	30	30
Malla de tamizado	1	50	50
		TOTAL	750

Fuente: PATIÑO C./ OCAMPO A., Laboratorio de Procesos Industriales./ ESPOCH/2014

3.3.1.1.2 Recursos humanos

Tabla 17: RECURSOS HUMANOS

DENOMINACIÓN	COSTO
Mano de obra para la construcción del equipo	500
Mano de obra para la instalación del sistema eléctrico	50
Total	550

Fuente: PATIÑO C./ OCAMPO A., Laboratorio de Procesos Industriales./ ESPOCH/2014

3.3.1.1.3 Recursos totales

Tabla 18: RECURSOS TOTALES

ACTIVIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	TOTAL
Transporte	-	-	138
Impresiones y copias	1200	0,03	39,5
Empastado	3	7	21
Anillados	3	2	6
Internet	200	0,40	80
Recursos materiales	-	-	750
Recursos Humanos	-	-	550
		TOTAL	1584,5

Fuente: PATIÑO C./ OCAMPO A., Laboratorio de Procesos Industriales./ ESPOCH/2014

3.4 Análisis y discusión de resultados

Con los cálculos de ingeniería propuestos para el dimensionamiento del equipo se ha obtenido una serie de resultados tanto en la parte de diseño del mismo como en la parte práctica; por lo tanto, se tiene:

- La picadora de martillos ha sido diseñada con las siguientes características: una fuerza de motor de 2057,4 N que permiten el picado del material durante el proceso, un torque de 31, 8897 J que facilita el giro de cada martillo para reducir el tamaño del berro, espinaca y zanahoria. Una potencia teórica de 1,47912 hp necesarios para poner en funcionamiento el equipo, sin embargo por seguridad y para mejor funcionabilidad se ha instalado un motor con una potencia de 2 hp.
- El equipo maneja un volumen de producción calculado de 692, 5536 m³/día necesarios para obtener el material reducido a ocupar en la siguiente etapa; se conoce también que diariamente se tratará un volumen de producción valorado en 0,121 m³/día; por lo tanto, dando un análisis general con el volumen de producción calculado y el volumen de producción a obtener diariamente, se tiene que nuestra picadora está dentro del rango de producción establecido sobrepasando dicho valor en un 100%, abasteciendo a la línea de proceso en la obtención del gel de protección solar.
- La picadora de martillos produce un porcentaje de rechazo de 91,19% en el tamiz con luz de malla de 0,005 m; lo cual, nos revela que el equipo está operando dentro del rango de diámetro de partícula para el cual fue diseñado.
- El grado de desintegración con el que la picadora trabaja es de 6,434; el cual, indica que la relación entre el diámetro de partícula a la entrada y salida es aceptable; ya que el producto final presenta las características físicas necesarias ($\varnothing=0,5$ cm) a las cuales se desea llegar.
- El rendimiento del equipo calculado presenta un valor aceptable de 89,7% para poder realizar el trabajo de molienda, el mismo que, muestra que el 10,3% del

material es retenido por las paredes del equipo en su interior, o a su vez no es picado totalmente por la máquina.

- La eficiencia de la picadora es del 73,96%, lo cual, nos visualiza que la relación entre el trabajo requerido y teórico es aceptable, es decir este valor es considerado debido a que se utiliza un motor de 2 hp, debido a que, en el mercado se encuentran motores de 1,5 hp; 2 hp; 3 hp tomando en cuenta que el factor de seguridad es del 20% y mayor vida útil del mismo, cuando a su vez la máquina requiere de un motor de 1,5 hp.
- Los costos de producción para los 240 kg/día de berro, espinaca y zanahoria dentro de la línea de proceso es de \$ 114, es así que, el material obtenido puede ser utilizado en la línea de proceso de obtención solar o a su vez ser vendido como abono orgánico para los terrenos a un precio de \$ 0,75 ctvs/kg, se obtiene un capital de ingreso de \$ 180 diarios, entonces, en base a los costos de producción y capital de ingreso se tiene una utilidad de \$66, los cuales satisfacen la necesidad económica para lo cual la máquina ha sido construida.

CONCLUSIONES

- La picadora de martillos reduce el diámetro de partícula de la materia prima en un rango de 0,5-1 cm.
- En la alimentación de los 10 kg/h se tiene: 9,1193 kg/hora de producto tienen un diámetro de 0,5 cm; 0,7971 kg/hora de producto tiene un diámetro de 0,75 cm, y finalmente 0,00836 kg/hora de producto tiene un diámetro de 1 cm.
- Las variables de proceso son: rendimiento del equipo con un valor de 89,7%, un diámetro de partícula de 0,5 cm y un flujo de alimentación de 10 kg/hora.
- El diseño del equipo determina una fuerza de 2057,4 N; un torque de 31,8897 J y una potencia del motor de 2 hp.
- Se validó el equipo en el Laboratorio de Procesos Industriales con un rendimiento del 89,7% y una eficiencia del 73,96%.
- Para producir 1 kg de berro picado se gasta \$2,10; para 1 kg de espinaca picada se gasta \$2,20 y para 1 kg de zanahoria picada se gasta \$2,25.

RECOMENDACIONES

- Antes y después del uso de la picadora se debe dar una limpieza interna y externa del mismo.
- No se debe utilizar otros productos para los cuales no ha sido diseñado el equipo.
- Es necesario utilizar material seco con una humedad máxima del 10% para que el equipo opere de manera propicia.
- Durante la operación del equipo se debe utilizar EPP (equipos de protección personal) como gafas, mandil, guantes, mascarilla debido al material particulado que se produce.
- Antes de encender la maquina se debe verificar que la conexión eléctrica sea de 110 V evitando que el motor sufra algún daño interno.
- La alimentación de la materia prima debe ser lenta para evitar que esta se acumule en la tolva e impida el correcto funcionamiento de la máquina.
- Durante la operación del picado NO ABRIR el compartimento de la zona de los martillos debido a que esto produciría una fuga violenta del material y a su vez ocasionar un accidente del operario.

BIBLIOGRAFÍA

BERRO. Miguillen. 2014

<http://www.saludybuenosalimentos.es/alimentos/index.php?s1=s1&s2=s2&s3=Berr>

Q

2014-01-20

BRITO, Hannibal. Texto Básico de Operaciones Unitarias I. Riobamba-Ecuador. 2000, pp. 31-42.

ESPINACA. Milepri. 2014

<http://verduras.consumer.es/documentos/hortalizas/espinacas/salud.php>

2014- 01-20

Mc CABE, W. Operaciones Unitarias en Ingeniería Química. 4ta. ed, Madrid-España. McGraw Hill. 1998, pp. 987-1058.

OCÓN, Vian. Elementos de ingeniería química. 5ta ed, Madrid-España. Aguilar. 1976, pp. 286-337.

REAL H., Juan A. Diseño de un sistema para el proceso de molienda de carbón mineral para ser utilizado como combustible industrial. (Tesis) (Ing. Mecánico). Escuela Superior Politécnica del Litoral, Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción, Escuela de Ingeniería Mecánica, Guayaquil-Ecuador. 2006, pp. 46-55.

SALAS, German. Diseño de un Molino de Rodillos para Molienda de Granos, Destinado al Área de Alimentos del CESTTA-ESPOCH. (Tesis) (Ing. Químico). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Escuela de Ingeniería Química, Riobamba-Ecuador. 2012, pp. 20-105.

ZANAHORIA. Tarawa. 2014.

<http://www.saludybuenosalimentos.es/alimentos/index.php?s1=s1&s2=s2&s3=Zanahoria>

2014- 01-20

ANEXO I
PESAJE ZANAHORIA



NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESPOCH	PICADORA PARA BERRO, ESPINACA Y ZANAHORIA		
A. DENSIDAD	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por Aprobar <input type="checkbox"/> Por calificar <input type="checkbox"/> Por verificar	Elaborado por: Cristian Javier Patiño Vidal Jorge Andrés Ocampo Jiménez	ESCALA	FECHA	LÁMINA
			A4	20-11-2014	I

ANEXO II
VOLUMEN DESPLAZADO



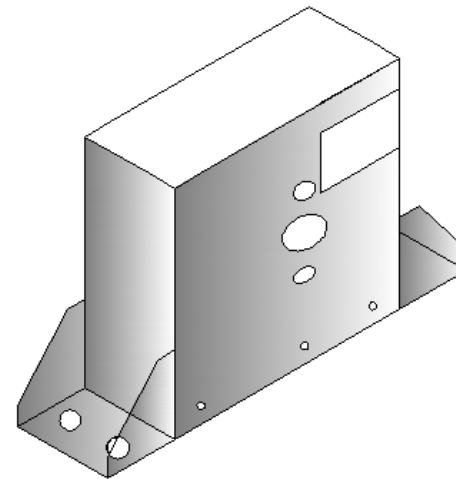
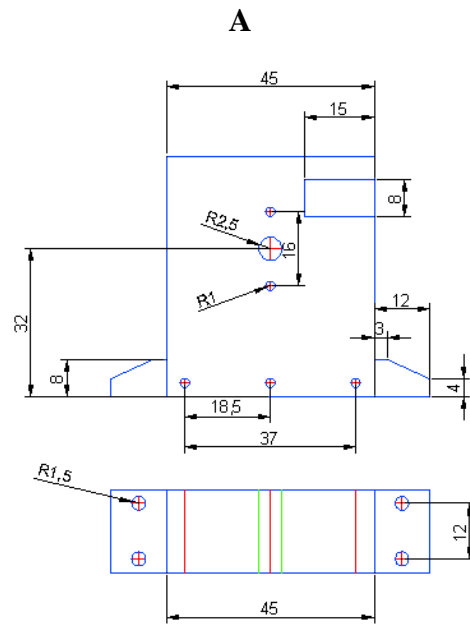
NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por Aprobar <input type="checkbox"/> Por calificar <input type="checkbox"/> Por verificar	ESPOCH Elaborado por: Cristian Javier Patiño Vidal Jorge Andrés Ocampo Jiménez	PICADORA PARA BERRO, ESPINACA Y ZANAHORIA		
A. DENSIDAD			ESCALA	FECHA	LÁMINA
			A4	20-11-2014	II

ANEXO III
ZONA LATERAL



NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESPOCH	PICADORA PARA BERRO, ESPINACA Y ZANAHORIA		
A. PICADORA DE VEGETALES			Elaborado por:	ESCALA	FECHA
		<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por Aprobar <input type="checkbox"/> Por calificar <input type="checkbox"/> Por verificar	Cristian Javier Patiño Vidal Jorge Andrés Ocampo Jiménez	A4	20-11-2014

ANEXO IV
PLANO FRONTAL



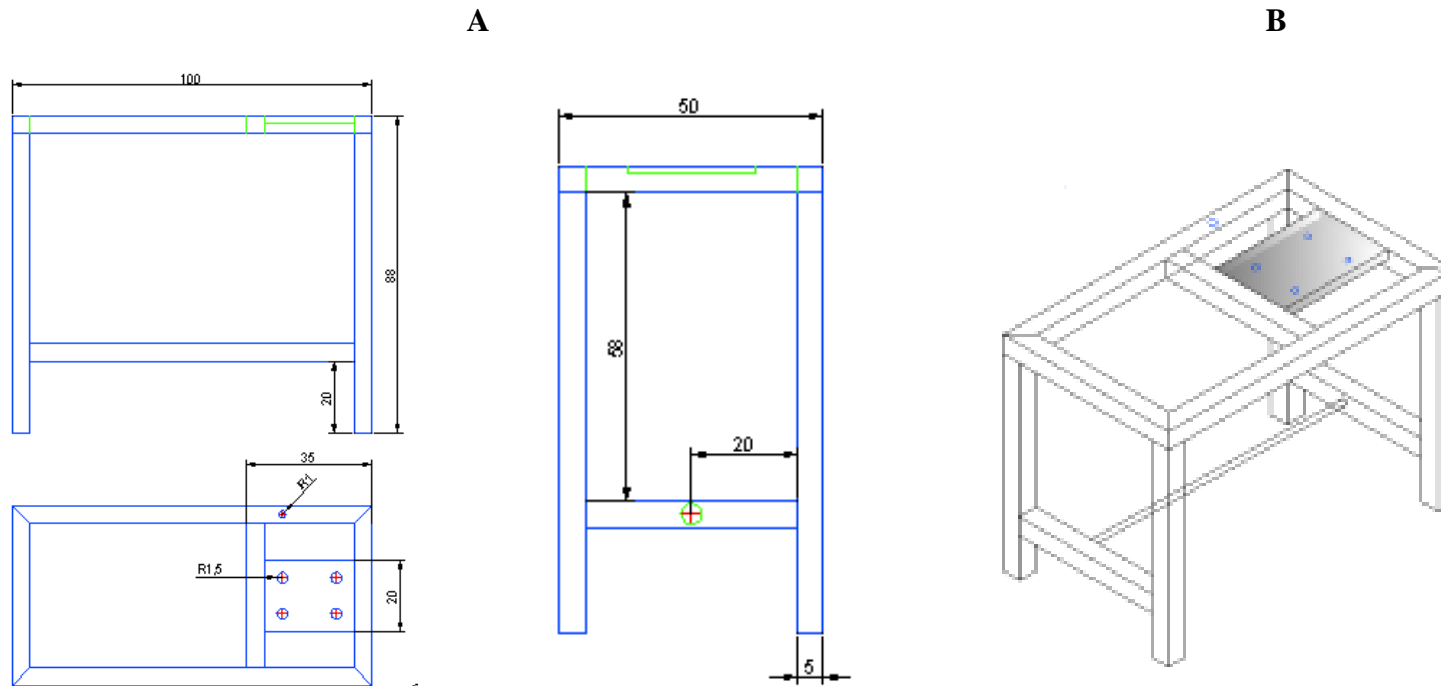
NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESPOCH	PICADORA PARA BERRO, ESPINACA Y ZANAHORIA		
A. PLANO DE LA CUBIERTA B. CUBIERTA 2D	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por Aprobar <input type="checkbox"/> Por calificar <input type="checkbox"/> Por verificar	Elaborado por: Cristian Javier Patiño Vidal Jorge Andrés Ocampo Jiménez	ESCALA	FECHA	LÁMINA
			A4	20-11-2014	IV

ANEXO V
ZONA FRONTAL



NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESPOCH	PICADORA PARA BERRO, ESPINACA Y ZANAHORIA		
A. PICADORA DE VEGETALES	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por Aprobar <input type="checkbox"/> Por calificar <input type="checkbox"/> Por verificar	Elaborado por: Cristian Javier Patiño Vidal Jorge Andrés Ocampo Jiménez	ESCALA	FECHA	LÁMINA
			A4	20-11-2014	V

ANEXO VI
PLANO DE LA BASE



<p>NOTAS</p>	<p>CATEGORÍA DEL DIAGRAMA</p>	<p>ESPOCH</p>	<p>PICADORA PARA BERRO, ESPINACA Y ZANAHORIA</p>		
<p>A. PLANO DE LA MESA B. MESA 2D</p>	<p><input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por Aprobar <input type="checkbox"/> Por calificar <input type="checkbox"/> Por verificar</p>	<p>Elaborado por: Cristian Javier Patiño Vidal Jorge Andrés Ocampo Jiménez</p>	<p>ESCALA</p>	<p>FECHA</p>	<p>LÁMINA</p>
			<p>A4</p>	<p>20-11-2014</p>	<p>VI</p>

ANEXO VII

TOLVA DE ALIMENTACIÓN



NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESPOCH	PICADORA PARA BERRO, ESPINACA Y ZANAHORIA		
A. PICADORA DE VEGETALES	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por Aprobar <input type="checkbox"/> Por calificar <input type="checkbox"/> Por verificar	Elaborado por: Cristian Javier Patiño Vidal Jorge Andrés Ocampo Jiménez	ESCALA	FECHA	LÁMINA
			A4	20-11-2014	VII

ANEXO VIII

ZONA FRONTAL MOTOR



NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESPOCH Elaborado por: Cristian Javier Patiño Vidal Jorge Andrés Ocampo Jiménez	PICADORA PARA BERRO, ESPINACA Y ZANAHORIA		
A. PICADORA DE VEGETALES	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por Aprobar <input type="checkbox"/> Por calificar <input type="checkbox"/> Por verificar		ESCALA	FECHA	LÁMINA
		A4	20-11- 2014	VIII	

ANEXO IX
ZONA DE MARTILLOS



NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESPOCH	PICADORA PARA BERRO, ESPINACA Y ZANAHORIA		
A. PICADORA DE VEGETALES	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por Aprobar <input type="checkbox"/> Por calificar <input type="checkbox"/> Por verificar	Elaborado por: Cristian Javier Patiño Vidal Jorge Andrés Ocampo Jiménez	ESCALA	FECHA	LÁMINA
			A4	20-11-2014	IX

ANEXO X
ZANAHORIA



NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESPOCH	PICADORA PARA BERRO, ESPINACA Y ZANAHORIA		
A. DIÁMETROS INICIALES	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por Aprobar <input type="checkbox"/> Por calificar <input type="checkbox"/> Por verificar	Elaborado por: Cristian Javier Patiño Vidal Jorge Andrés Ocampo Jiménez	ESCALA	FECHA	LÁMINA
			A4	20-11-2014	X

ANEXO XI
MATERIAL SECO



A



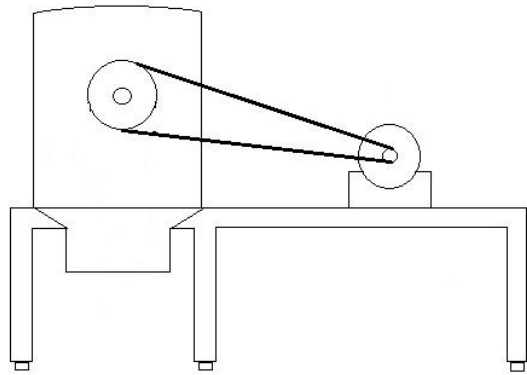
B



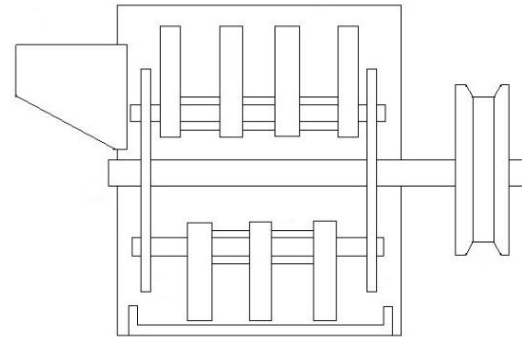
C

NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	<p style="text-align: center;">ESPOCH</p> <p style="text-align: center;">Elaborado por:</p> <p style="text-align: center;">Cristian Javier Patiño Vidal Jorge Andrés Ocampo Jiménez</p>	PICADORA PARA BERRO, ESPINACA Y ZANAHORIA		
<p>A. ZANAHORIA B. ESPINACA C. BERRO</p>	<p><input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por Aprobar <input type="checkbox"/> Por calificar <input type="checkbox"/> Por verificar</p>		ESCALA	FECHA	LÁMINA
			A4	20-11-2014	XI

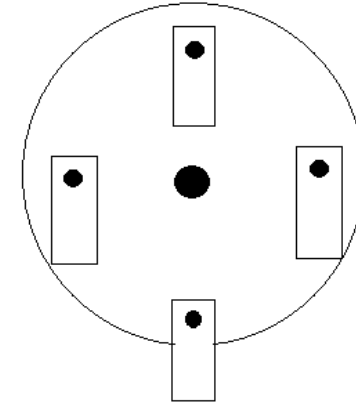
ANEXO XII
PICADORA



A



B



C

NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESPOCH	PICADORA PARA BERRO, ESPINACA Y ZANAHORIA		
A. PICADORA B. ZONA INTERNA C. MARTILLOS	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por Aprobar <input type="checkbox"/> Por calificar <input type="checkbox"/> Por verificar		Elaborado por: Cristian Javier Patiño Vidal Jorge Andrés Ocampo Jiménez	ESCALA	FECHA
				A4	20-11-2014