



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA

ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE MORDAZAS PARA REALIZAR
ENSAYOS A TRACCIÓN EN TUBOS DE ACERO Y CAÑERÍAS DE
COBRE EN LA MÁQUINA UNIVERSAL DEL LABORATORIO DE
RESISTENCIA DE MATERIALES DE LA ESCUELA DE
INGENIERÍA MECÁNICA -ESPOCH”**

**MENESES BASANTES ALEXIS ZAMIR
VÁSCONEZ PAREDES FERNANDO JAVIER**

TRABAJO DE TITULACIÓN

TIPO: PROPUESTA TECNOLÓGICA

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERO MECÁNICO

RIOBAMBA – ECUADOR

2019

ESPOCH

Facultad de Mecánica

**CERTIFICADO DE APROBACIÓN DEL
TRABAJO DE TITULACIÓN**

2018-10-10

Yo recomiendo que el Trabajo de Titulación preparado por:

MENESES BASANTES ALEXIS ZAMIR

Titulado:

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE MORDAZAS PARA REALIZAR ENSAYOS A
TRACCIÓN EN TUBOS DE ACERO Y CAÑERÍAS DE COBRE EN LA MÁQUINA
UNIVERSAL DEL LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES DE LA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA-ESPOCH”**

Sea aceptado como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERO MECÁNICO

Ing. Carlos José Santillán Mariño
DECANO FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Jorge Isaías Caicedo Reyes
DIRECTOR

Ing. Edwin Fernando Viteri Núñez
MIEMBRO

ESPOCH

Facultad de Mecánica

**CERTIFICADO DE APROBACIÓN DEL
TRABAJO DE TITULACIÓN**

2018-10-10

Yo recomiendo que el Trabajo de Titulación preparado por:

VÁSCONEZ PAREDES FERNANDO JAVIER

Titulado:

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE MORDAZAS PARA REALIZAR ENSAYOS A
TRACCIÓN EN TUBOS DE ACERO Y CAÑERÍAS DE COBRE EN LA MÁQUINA
UNIVERSAL DEL LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES DE LA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA-ESPOCH”**

Sea aceptado como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERO MECÁNICO

Ing. Carlos José Santillán Mariño
DECANO FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Jorge Isaías Caicedo Reyes
DIRECTOR

Ing. Edwin Fernando Viteri Núñez
MIEMBRO

ESPOCH

Facultad de Mecánica

EXAMINACIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: MENESES BASANTES ALEXIS ZAMIR

TRABAJO DE TITULACIÓN: “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE MORDAZAS PARA REALIZAR ENSAYOS A TRACCIÓN EN TUBOS DE ACERO Y CAÑERÍAS DE COBRE EN LA MÁQUINA UNIVERSAL DEL LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA-ESPOCH”

Fecha de Examinación: 2019-01-25

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Marcelo Jácome V. PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Ing. Isaías Caicedo R. DIRECTOR			
Ing. Edwin Viteri N. MIEMBRO			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

Ing. Marcelo Jácome V.
PRESIDENTE TRIB. DEFENSA

ESPOCH

Facultad de Mecánica

EXAMINACIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: VÁSCONEZ PAREDES FERNANDO JAVIER

TRABAJO DE TITULACIÓN: “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE MORDAZAS PARA REALIZAR ENSAYOS A TRACCIÓN EN TUBOS DE ACERO Y CAÑERÍAS DE COBRE EN LA MÁQUINA UNIVERSAL DEL LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA-ESPOCH”

Fecha de Examinación: 2019-01-25

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Marcelo Jácome V. PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Ing. Isaías Caicedo R. DIRECTOR			
Ing. Edwin Viteri N. MIEMBRO			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

Ing. Marcelo Jácome V.
PRESIDENTE TRIB. DEFENSA

DERECHOS DE AUTORÍA

El Trabajo de Titulación que presentamos, es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud, los fundamentos teóricos-científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad de los autores. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Meneses Basantes Alexis Zamir

Vásquez Paredes Fernando Javier

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Nosotros, Meneses Basantes Alexis Zamir, y Vásconez Paredes Fernando Javier, declaramos que el presente Trabajo de Titulación es de nuestra autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autores, asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Titulación.

Meneses Basantes Alexis Zamir
Cedula de Identidad: 060342379-9

Vásconez Paredes Fernando Javier
Cédula de identidad: 060352937-1

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo a mis padres Ceci y Pepe quienes con su enorme amor cada día entregaron todo de sí para hacer de mí un profesional, e inculcándome valores morales y disciplina, ahora he conseguido llegar hasta este punto de mi vida. A mi hermanito Pepito quién me ha acompañado en esta trayectoria varias ocasiones y a dedicado momentos para pasar juntos noches de desvelo.

De manera especial también a la familia Jara Basantes, cuyos integrantes me han regalado palabras de aliento y apoyo para poder culminar mi carrera.

Meneses Basantes Alexis Zamir

El presente proyecto va dedicado a mi abuelita, que nos acogió en su casa desde temprana edad a mi hermano y a mí, y siempre ha estado pendiente de nosotros. A mi mamá, quien, pese a las distancias por el trabajo, nos supo inculcar los principios y valores que, con orgullo profeso, y que sin importar que nos ha apoyado. A mi tío Franklin, del cual adquirí la pasión por aprender, por conocer más. A mi hermano, quien es el primer amigo que he tenido, con quien hemos pasado varias travesías, así como con el resto de la familia.

No puedo olvidar mencionar a mis amigos, con quienes se ha reído, se ha llorado; pero han estado en las buenas y en las malas. De manera especial dedico el presente al amor de mi vida, que su apoyo ha sido verdaderamente importante.

Fernando Javier Vásquez Paredes.

AGRADECIMIENTO

El más profundo agradecimiento y cariño a la mujer de mi vida, mi madre Ceci quién con su enorme amor, dedicación, esfuerzo, consejos, comprensión, empuje, y las más adecuadas palabras de aliento para cada momento de mi vida me ha ayudado de una manera inimaginable en el proceso para conseguir este logro en mi vida y obviamente no puedo dejar de mencionar y agradecer a mi padre Pepe quien a pesar de no haber estado cada día junto a mí en este camino, su apoyo y amor fue incondicional en los momentos más adecuados sin importar cualquier adversidad y tiempo.

Meneses Basantes Alexis Zamir

En primer lugar, mi más sincero agradecimiento a mi abuelita, quien actuó de segunda madre desde que yo era muy pequeño, sin ella no estaría aquí, en este momento y en este lugar. A mi madre, le doy gracias por todo ese apoyo brindado, pese al tener que estar alejados debido a las circunstancias. Gracias a mi hermano y a mi tío, que, como familia, me han apoyado, me han dado sus palabras de aliento.

Fernando Javier Vásquez Paredes.

CONTENIDO

	Páginas
RESUMEN	
SUMMARY	
INTRODUCCIÓN	
CAPÍTULO I	
1. MARCO REFERENCIAL.....	1
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Planteamiento del problema	2
1.3 Justificación.....	3
1.3.1 <i>Justificación teórica</i>	3
1.3.2 <i>Justificación metodológica</i>	3
1.3.3 <i>Justificación práctica</i>	3
1.4 Objetivos.....	4
1.4.1 <i>Objetivo general</i>	4
1.4.2 <i>Objetivos específicos</i>	4
CAPÍTULO II	
2. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1 Tipos de tubo de sección transversal circular	5
2.1.1 <i>Tubería sin costura</i>	5
2.1.2 <i>Tubería con costura</i>	5
2.2 Ensayos a tracción en acero.	6
2.2.1 <i>Retos en los ensayos a tracción de tubos de sección circular</i>	6
2.3 Máquina Universal.	7
2.3.1 <i>Descripción Funcional:</i>	7
2.4 Mordaza.....	8
2.4.1 <i>Tipos de mordazas:</i>	8
2.5 Materiales más utilizados en la manufactura de mordazas.....	9
2.5.1 <i>Aceros</i>	9

2.5.2	<i>Clasificación de aceros por porcentaje de carbono</i>	9
2.5.3	<i>Influencia de los elementos de aleación en el diagrama hierro-carbono.</i>	11
2.5.4	<i>Aceros especiales.</i>	12
2.6	Selección de materiales	15
2.6.1	<i>Factores Físicos.</i>	15
2.6.2	<i>Factores Mecánicos.</i>	16
2.6.3	<i>Procesamiento y fabricabilidad.</i>	16
2.6.4	<i>Factores de duración de componentes.</i>	16
2.6.5	<i>Costos y disponibilidad.</i>	16
2.6.6	<i>Rendimiento y eficiencia de los materiales.</i>	16
2.6.7	<i>Diagramas de materiales</i>	16
2.6.8	<i>Falla de material.</i>	18
2.6.9	<i>Diseño deficiente.</i>	18
2.6.10	<i>Pobre selección de materiales.</i>	18
2.6.11	<i>Desperfectos en el material.</i>	18
2.6.12	<i>Errores de fabricación y tratamientos térmicos.</i>	19
2.6.13	<i>Circunstancias de servicio no adecuadas.</i>	19
2.7	Difusión en sólidos	20
2.7.1	<i>Introducción</i>	20
2.7.2	<i>Mecanismos de difusión</i>	21
2.7.3	<i>Energía de activación para la difusión</i>	22
2.7.4	<i>Velocidad de difusión</i>	23
2.7.5	<i>Segunda ley de Fick</i>	23
2.8	Tratamiento térmico	25
2.8.1	<i>Tratamiento térmico superficial</i>	25
2.8.2	<i>Carbonitruración</i>	26
2.8.3	<i>Templabilidad.</i>	33

CAPÍTULO III

3.	DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN	35
3.1	Parámetros de diseño.	35
3.1.1	<i>Dimensiones bastidor y mordazas</i>	35
3.1.2	<i>Dimensiones de la probeta</i>	35
3.1.3	<i>Dimensiones del tapón</i>	35
3.1.4	<i>Fuerzas en el ensayo</i>	35

3.1.5	<i>Materiales a utilizar</i>	36
3.2	Variables de diseño	36
3.2.1	<i>Identificación de las necesidades</i>	36
3.2.2	<i>Despliegue de la función de la calidad</i>	37
3.2.3	<i>Diseño conceptual</i>	37
3.2.4	<i>Desarrollo de las soluciones para cada módulo</i>	38
3.2.5	<i>Análisis y evaluación de la mejor alternativa</i>	40
3.3	Diseño del accesorio	44
3.3.1	<i>Análisis de fuerzas externas</i>	44
3.3.2	<i>Selección del material</i>	47
3.3.3	<i>Diseño de la geometría de la mordaza</i>	52
3.3.4	<i>Diseño del tratamiento térmico superficial</i>	61
3.3.5	<i>Simulación</i>	65
3.3.6	<i>Diseño del tapón</i>	68
3.4	Construcción del accesorio	69
3.4.1	<i>Compra del material en bruto</i>	69
3.4.2	<i>Corte del eje</i>	69
3.4.3	<i>Mecanizado</i>	70
3.4.4	<i>Carbonitruración</i>	74
3.5	Construcción del tapón.	75
3.6	Pruebas y funcionamiento	75
3.7	Análisis de resultados.	78

CAPÍTULO IV

4.	ESTUDIO DE COSTOS	81
4.1	Costos directos	81
4.1.1	<i>Costo de materiales mecánicos</i>	81
4.1.2	<i>Costo manufactura de máquinas herramienta</i>	81
4.1.3	<i>Costo tratamiento térmico</i>	82
4.1.4	<i>Costo de mano de obra</i>	82
4.2	Costos indirectos	82
4.3	Costos totales	83
4.4	Depreciación	84
4.4.1	<i>Vida útil</i>	84
4.4.2	<i>Cálculo de la depreciación</i>	85

CONCLUSIONES	87
RECOMENDACIONES	88
BIBLIOGRAFÍA	
ANEXOS	

LISTA DE TABLAS

	Páginas.
Tabla 1-2: Valores de la función error para la segunda ley de Fick	24
Tabla 2-2: Aceros SAE para cementación	28
Tabla 1-3: Evaluación del peso específico de cada criterio	40
Tabla 2-3: Evaluación de alternativas respecto al Costo.	41
Tabla 3-3: Evaluación de alternativas respecto a Múltiples diámetros.	41
Tabla 4-3: Evaluación de alternativas respecto al Uso simple.	42
Tabla 5-3: Evaluación de alternativas respecto al Buen agarre.	42
Tabla 6-3: Evaluación de alternativas respecto a la Durabilidad.	42
Tabla 7-3: Evaluación de alternativas respecto al Bajo peso.	43
Tabla 8-3: Evaluación de alternativas respecto a Didáctico.	43
Tabla 9-3: Resumen para selección de alternativa por prioridad.	43
Tabla 10-3: Características de una tubería de acero galvanizado	45
Tabla 11-3: Composición del acero AISI P20	50
Tabla 12-3: Propiedades mecánicas acero AISI P20	50
Tabla 13-3: Propiedades mecánicas acero AISI/SAE 5115	51
Tabla 14-3: Composición del acero AISI/SAE 5115	51
Tabla 15-3: Datos para cementación	62
Tabla 16-3: Comparación de durezas del acero AISI 5115	65
Tabla 17-3: Datos de las probetas a ensayarse.	78
Tabla 18-3: Resultados de los ensayos.	79
Tabla 19-3: Comparativa entre compra y manufactura de mordazas	80
Tabla 1-4: Costos materiales mecánicos.....	81
Tabla 2-4: Costo manufactura de máquinas herramientas.....	81
Tabla 3-4: Costo tratamiento térmico	82
Tabla 4-4: Costo de mano de obra	82
Tabla 5-4: Costos directos	82
Tabla 6-4: Costos indirectos	83
Tabla 7-4: Costos totales	83

Tabla 8-4: Valor de adquisición de mordazas	84
Tabla 9-4: Depreciación de mordazas en 10 años	86

LISTA DE GRÁFICOS

	Páginas.
Gráfico 1-2: Diagrama Hierro-Carbono	10
Gráfico 2-2: Temperatura eutectoide para distintos elementos aleantes	11
Gráfico 3-2: Posición punto eutectoide con distintos elementos aleantes	12
Gráfico 4-2: Diagrama de Módulo de Young E vs Densidad ρ	17
Gráfico 5-2: Curvas de descomposición de la austenita	31
Gráfico 6-2: Acero SAE 1020 carburado y carbonitrurado	32
Gráfico 7-2: Templabilidad para diferentes aceros aleados	33
Gráfico 8-2: Desgaste de aceros por el contenido de carbono.....	34
Gráfico 1-3: Precio de material vs Dureza Rockwell C	48
Gráfico 2-3: Tensión de Rotura vs Dureza Rockwell C	49
Gráfico 3-3: Tensión de Rotura vs Dureza Rockwell C	49
Gráfico 4-3: Dependencia de D con la temperatura para varios metales	62

LISTA DE FIGURAS

	Páginas
Figura 1-1: Producción de varillas de acero	1
Figura 1-2: Fabricación de tubos sin costura.....	5
Figura 2-2: Tubos soldados o con costura	5
Figura 3-2: Probeta para ensayos a tracción.....	6
Figura 4-2: Mordazas para tubos de acero de sección circular.	7
Figura 5-2: Máquina Universal	8
Figura 6-2: Mordaza de tornillo	8
Figura 7-2: Mordaza de cuña.....	9
Figura 8-2: Mordaza de tornillo cuña	9
Figura 9-2: Difusión de átomos de cobre y níquel	20
Figura 10-2: Difusión de átomos por vacancia.....	21
Figura 11-2: Difusión de átomos intersticial	22
Figura 12-2: Energía de activación en la difusión de átomos	22
Figura 13-2: Flujo de átomos durante la difusión	23
Figura 14-2: Acero carbonitrurado AISI c1213	28
Figura 1-3: Casa de la calidad	37
Figura 2-3: Función nivel cero	38
Figura 3-3: Función nivel uno.	38
Figura 4-3: Mordaza de cuña con garganta en V	39
Figura 5-3: Mordaza cilíndrica con bastidor	39
Figura 6-3: Mordaza de cuña con garganta cilíndrica	39
Figura 7-3: Mordaza de cuña garganta V independiente.....	39
Figura 8-3: Mordaza de cuña cara plana independiente	40
Figura 9-3: Dimensiones del bastidor.....	44
Figura 10-3: Diagrama de cuerpo libre accionamiento de mordazas	46
Figura 11-3: Diagrama de cuerpo libre de mordaza	46
Figura 12-3: Dimensiones del bastidor.....	52
Figura 13-3: Diagrama de cuerpo libre de mordaza	53

Figura 14-3: Representación del punto de análisis.....	55
Figura 15-3: Diagrama de fuerzas de tracción en la garganta.....	55
Figura 16-3: Diagrama de cuerpo libre diente de agarre.....	57
Figura 17-3: Medidas de diente en la cremallera.....	59
Figura 18-3: Acero AISI 5115.....	63
Figura 19-3: Acero AISI 5115 carbonitrurado.....	65
Figura 20-3: Fuerzas actuantes sobre la muela.....	66
Figura 21-3: Mallado de la muela.....	66
Figura 22-3: Deformación en las muelas.....	67
Figura 23-3: Factor de seguridad en las muelas.....	67
Figura 24-3: Diagrama de tapón con medidas reales.....	68
Figura 25-3: Deformación en el tapón.....	69
Figura 26-3: Corte de eje de Acero 5115.....	70
Figura 27-3: Montaje en la fresadora.....	70
Figura 28-3: Fresado de eje de Acero.....	71
Figura 29-3: Prismas después del fresado.....	71
Figura 30-3: Geometría básica para la cremallera.....	71
Figura 31-3: Mandrinadora (izquierda), Fresa para generar dientes (derecha).....	72
Figura 32-3: Cremallera de mordazas.....	72
Figura 33-3: Fresado de la geometría piramidal para cuña.....	73
Figura 34-3: Martajado de dientes en la garganta.....	73
Figura 35-3: Mordazas en cuña sin tratamiento.....	74
Figura 36-3: Horno para cementación.....	74
Figura 37-3: Mordaza carbonitrurada.....	74
Figura 38-3: Torneado de tapones.....	75
Figura 39-3: Medidas del tapón real.....	75
Figura 40-3: Prueba de mordazas en vacío.....	76
Figura 41-3: Probetas para ensayo.....	77
Figura 42-3: Muelas post pruebas.....	77
Figura 43-3: Probeta fracturada.....	78
Figura 44-3: Probetas fracturadas después del ensayo.....	79
Figura 45-3: Marcas de sujeción en la probeta.....	80

LISTA DE ABREVIACIONES

ESPOCH	Escuela Superior Politécnica de Chimborazo
INEN	Instituto Ecuatoriano de Normalización
CAD	Computer Aided Design
CAM	Computer Aided Manufacturing
CAE	Computer Aided Engineering
NTE	Norma Técnica Ecuatoriana
AISI	American Iron and Steel Institute
ISO	International Organization for Standardization
MEF	Método de Elementos Finitos
ASTM	American Society of Testing Materials
HSLA	High-Strength Low-Alloy
HRC	Dureza Rockwell C
HB	Dureza Brinell
SAE	Society of Automotive Engineers
TED	Teoría de la Energía de Distorsión
BCC	Cúbica Centrada en el Cuerpo
UNE	Una norma española
SRI	Servicio de Rentas Internas

SIMBOLOGÍA

E	Módulo de elasticidad de Young	Kg/m ²
ρ	Densidad	Kg/m ³
Q	Energía de activación para la difusión	cal/mol
J	Flujo de átomos	Atoms/cm ² ·s
D	Difusividad	cm ² /s
$\frac{\Delta c}{\Delta x}$	Gradiente de concentración	Atoms/cm ³ ·cm
R	Constante de los gases	cal/mol°K
T	Temperatura absoluta	°K
C _s	Concentración constante de átomos a difundir en la superficie del material	Kg/s
C _o	Concentración uniforme de átomos inicial que van a ser difundidos en el material	N
C _x	Concentración de átomos que se difunden debajo de la superficie del material a una posición <i>x</i>	Kg/m ³
t	Tiempo	h
x	Distancia de penetración de difusión	mm
erf	Función error	
F _R	Fuerza para fractura de probeta	N
D _{ext}	Diámetro externo	mm
d	Diámetro interno	mm
σ_T	Esfuerzo axial de tensión	MPa
A	Área	mm ²
μ	Coefficiente de rozamiento	
P	Fuerza de agarre	N
R _A	Reacción de la bancada	N
M	Momento	N·mm
A _P	Área de la pendiente de bancada	mm ²
A _G	Superficie de la garganta	mm ²

A_T	Área de probeta sometida a esfuerzo de tracción	mm^2
e	Espesor mínimo entre garganta y espalda	mm
τ_C	Esfuerzo de aplastamiento o corte	MPa
S_y	Resistencia a la fluencia	MPa
η	Coefficiente de seguridad	
I	Inercia	mm^4
c	Mayor distancia al eje neutro	mm
b	Base	mm
h	Altura	mm
Face	Ancho de diente de cremallera	in
P_d	Paso diametral	$1/\text{in}$
p	Paso	in
K_v	Factor dinámico	
K_O	Factor de sobrecarga	
K_S	Factor de tamaño	
K_m	Factor de distribución de carga	
K_B	Factor de aro	
W_t	Fuerza tangencial	lb
J	Factor geométrico ACMA	
S_F	Factor de seguridad	
S_t	Esfuerzo admisible a flexión	psi
K_T	Factor de temperatura	
K_R	Factor de confiabilidad	
Y_N	Factor de ciclos de esfuerzo	
E_n	Número de ensayos por periodo	
e_T	Ensayos a tracción en tubería	
em	Escuelas en la Facultad de Mecánica	
C	Costo original del activo	$\text{\$}$
S	Valor de salvamento	$\text{\$}$
n	Vida útil calculada en años	años
B	Base de depreciación del activo	$\text{\$}$
D_k	Cargo por depreciación por el año	$\text{\$}$
A_k	Depreciación acumulada al final del año	$\text{\$}$

V_k	Valor en libros al final del año	\$
d_k	Tasa de depreciación por el año	

LISTA DE ANEXOS

Anexo A	Catálogo acero AISI 5115
Anexo B	Plano mecánico de Máquina Universal
Anexo C	Plano de detalle de mordaza
Anexo D	Plano mecánico de tapón
Anexo E	Manual de operación, mantenimiento y seguridad
Anexo F	Guía técnica de laboratorio
Anexo G	Norma para ensayos a tracción ASTM E8
Anexo H	Norma para tubos de acero, conducción de fluidos INEN 2415
Anexo I	Norma para tubos estructurales de acero INEN 2470
Anexo J	Norma para tubos de cobre sin costura para agua ASTM B88

RESUMEN

Debido a la actualización de la normativa relacionada con el control de calidad para la producción de tuberías en la industria acerera, se diseñó y construyó un juego de mordazas (4 muelas) que serán utilizadas en la máquina universal, localizada en el Laboratorio de Resistencia de Materiales de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la ESPOCH, y se desarrolló además una guía de laboratorio, todo esto para realizar ensayos a tracción en tuberías de acero y cobre. Para el diseño se tomó en cuenta un rango de diámetros externos de probeta de 1 in a 5/16 in, de distintos espesores, en muestras con una longitud máxima de un metro de tubería. Se ha revisado a profundidad el estado del arte para, de este modo, conocer todos los aspectos de funcionalidad y certeza que deben cumplir las mordazas. Seguidamente se escoge la opción de forma más adecuada según parámetros preestablecidos y se procede a calcular todos los esfuerzos que soportará, así como las medidas finales con un rango de seguridad aceptable; se usó un software de análisis de elementos finitos y modelación para validar lo realizado previamente. Para la construcción se parte de un acero aleado al Cr-Mn, idóneo para realizar un posterior endurecimiento superficial, necesario para garantizar la calidad del accesorio. Las mordazas construidas son probadas con éxito, sin darse ningún problema en las probetas, muelas, o tapones al momento de efectuar los ensayos teniendo así un accesorio que aporta un método para realizarlos. Se recomienda ser muy minucioso en el proceso de diseño, considerando todas las fuerzas que actúan al momento de realizar el ensayo, para no tener inconveniente alguno con las dimensiones de la geometría y de esta manera evitar fallos de cualquier tipo.

PALABRAS CLAVE: <TECNOLOGÍA Y CIENCIAS DE LA INGENIERÍA>, <MORDAZAS> <ENSAYOS A TRACCIÓN> <TUBERÍA> <TRATAMIENTOS TÉRMICOS> <MÁQUINA UNIVERSAL> <COMPUTER ASSISTED DESIGN (CAD)> <COMPUTER ASSISTED ENGINEERING (CAE)>

SUMMARY

Due to the updating of the regulations related to quality control for the production of pipes in the steel industry, a set of clamps (4 molars) was designed and built to be used in the universal machine, located in the Material Resistance Laboratory of the Mechanical Engineering School at the ESPOCH; additional, a laboratory guide was also developed. This is to perform traction tests on steel and copper pipes. For the design, a range of external diameters of specimen 1 in to 5/16 in, was taken into account of different thicknesses, in samples with a maximum length of one meter of pipe. The state of the art has been revised in depth to know all aspects of functionality and certainty that the clamps must meet. Next, the most appropriate shape option is chosen according to pre-established parameters and all the efforts that will support are calculated, as well as the final measures with an acceptable safety range. An analysis software of finite and modeling elements were used to validate the previous work. For the construction, it begins with a Cr-Mn alloyed steel, suitable to make a subsequent superficial hardening, necessary to guarantee the accessory quality, which provides a method to make them. It is recommended to be very thorough in the design process, considering all the forces that act at the time of conducting the test, so not to have any inconvenience with the geometry dimensions and to avoid any kind of failures.

KEYWORDS: <TECHNOLOGY AND SCIENCE OF ENGINEERING>, <CLAMPS>, <TRACTION TESTS> <PIPELINE> <THERMAL TREATMENTS> <UNIVERSAL MACHINE> <COMPUTER ASSISTED DESIGN (CAD)> <COMPUTER ASSISTED ENGINEERING (CAE)>

INTRODUCCIÓN

Identificación del Problema.

Al país entra una ingente cantidad de productos siderúrgicos, por ello este sector ha apostado por crear sus propios bienes dentro del país, es por esto que desde el año 2000 este sector ha crecido a una tasa del 481% en el transcurso de una década, gracias a esto ha podido cubrir casi en su totalidad la demanda de acero local. (ALACERO, 2018)

Esto ha sido gracias a la gestión y trabajo de 3 de las empresas siderúrgicas más importantes del país que poseen hornos para el procesamiento de despojos y chatarra de hierro como su principal materia prima, las que se pueden identificar como: ADELCA, ANDEC y NOVACERO.

Es aquí donde entra en juego el INEN, ya que esta institución se ha tenido que poner a la par de la producción de este tipo de productos de acero asegurando al consumidor final un producto de altísima calidad, que cumpla con las normas y regulaciones que este instituto tiene como fin reglamentar.

Para el caso en específico de “Tubería de acero al carbono con costura, negros y galvanizados para conducción de fluidos”, el INEN nos pone como requisito cumplir con la norma NTE INEN 2470, mientras que para “Tubos de acero al carbono estructurales y usos generales”, nos regula la norma NTE INEN 2415, y la norma ASTM B88 de “Tubos de cobre para agua sin costura”.

Es debido a esto que surge la necesidad de realizar ensayos a tracción, para medir las propiedades de probetas de tubería de acero y tubería de cobre con diámetros menores a 2 in. En el Laboratorio de Resistencia de Materiales de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la ESPOCH se cuenta con una Máquina Universal que aunque cuenta con mordazas para realizar ensayos en probetas cilíndricas no son las adecuadas para realizar los ensayos que se intenta lograr para los rangos que se pensó este trabajo, que son de diámetros menores a 1 in.

Debido a esta razón se va a diseñar y construir un juego de mordazas adecuadas para realizar este tipo de ensayos, junto con los respectivos tapones para las probetas de

tubería, evitando con estos últimos la deformación de las probetas al momento de realizar estas pruebas, es necesario mencionar que este juego de mordazas podrá manejar ensayos con probetas dentro de un rango de 5/16 in hasta 1 in.

Es necesario tomar en cuenta que este rango es importante debido a que la tubería más utilizada en instalaciones domésticas que son la mayoría, corresponde a tubería galvanizada de 1/2 in de diámetro en las conexiones necesarias para abastecer de agua potable a los diferentes ambientes que existen dentro de una vivienda, según información de proveedores de tubería.

Para este fin, nos basamos en las recomendaciones de la norma ASTM E8 que corresponde a “Ensayo de tracción de materiales metálicos”, luego de lo cual se verificó que la geometría planteada resistiera los diferentes esfuerzos a los que será sometida cada muela, para lo cual se aplicó la teoría de falla de Von Mises – Henky; es necesario, además, realizarles un tratamiento térmico superficial, lo que elevará la dureza de la capa exterior de las mordazas, garantizando de esta manera una vida útil mayor, para ello es necesario apoyarnos en la teoría de difusión, que es la que nos ayuda a calcular los parámetros para dicho tratamiento superficial.

Así se consigue un juego de mordazas de calidad, que serán de gran utilidad en el Laboratorio de Resistencia de Materiales, para obtener ensayos precisos sobre las probetas mencionadas, las mismas que no recibían el estudio adecuado previo a este trabajo de titulación.

CAPÍTULO I

1. MARCO REFERENCIAL.

1.1 Antecedentes

En Ecuador, a través de los objetivos plasmados en la Estrategia Nacional para el cambio de la matriz Productiva, en un marco legal otorgado por la Constitución de la República, plantea como política alentar a los sectores productivos, incluido en ellos el siderúrgico, mismo que es vital para un óptimo desarrollo industrial ecuatoriano. (Economía al servicio de la sociedad, 2017 págs. 72 - 74)

A la industria siderúrgica se la considera industria elemental, al ser sus productos insumos indispensables para la manufactura de infraestructura y maquinaria de toda industria, en consecuencia, este sector es fundamental en la industrialización de una sociedad. (INP, 2013 pág. 02)



Figura 1-1: Producción de varillas de acero

Fuente: (INP, 2013)

En el entorno nacional se debe destacar que no existe una industria acerera como tal debido a que no se cuenta con una siderúrgica integrada que realice el proceso desde la fundición del mineral de hierro, solo se cuenta con fundición de chatarra de origen nacional o importada.

Sin embargo, según datos oficiales del Instituto Latinoamericano de Fierro y Acero, la producción local de acero en el año 2010 es de un aproximado de 337 000 toneladas métricas. Esta producción se ha acrecentado en un 481% desde el 2000 al 2010. (INP, 2013 págs. 02-04)

Además, cabe recalcar que en el país existen tres industrias acereras que poseen hornos para procesamiento de hierro, chatarra, esponja/pellets, etc. las cuales son:

- ADELCA.

- ANDEC.
- NOVACERO.

Dado el crecimiento de la industria acerera en el país, los institutos de control de calidad han tenido que ponerse a la par de la producción, para asegurar un producto de calidad para el consumidor final sea este nacional o extranjero. Por dicho motivo, para el caso de producción de tubos de acero, las compañías deben regirse a las normas NTE INEN 2415 para “Tubos de acero al carbono soldados para aplicaciones estructurales y usos generales”, NTE INEN 2470 para “Tubos de acero al carbono con costura, negros y galvanizados para conducción de fluidos”, y ASTM B88 para “Tubos de cobre sin costura para agua”, entre otras, donde anteriormente no era necesario realizar ensayos en el producto final, únicamente se realizaban pruebas de control de calidad en el material en bruto. Es en la actualidad que se exigen test para asegurar la calidad final una vez ya se tenga este producto terminado, para lo que se toman cinco muestras de cada lote. (NOVACERO, 2018)

1.2 Planteamiento del problema

Debido a los distintos diámetros, espesores, y aplicaciones de tubos de acero, el rango de productos es bastante amplio. La normativa ecuatoriana requiere que se hagan pruebas de resistencia a la tracción, de fluencia, y porcentaje de deformación tanto a la materia prima de cada lote, como también al producto terminado, para verificar que el artículo esté acorde con los límites permitidos.

El Laboratorio de Resistencia de Materiales de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la ESPOCH cuenta con una máquina universal capaz de realizar muchas de las pruebas de tracción, flexión y compresión para distintos tipos de productos y materiales; pero lamentablemente no cuenta con los accesorios adecuados para realizar las pruebas de tracción en tubos y caños de diámetros inferiores a 2 pulgadas ni tampoco se tienen los procedimientos para que se lleve a cabo este tipo de ensayo.

Dicho esto, este es un importante conocimiento que los estudiantes deben obtener, ya que la escuela forma profesionales que pueden estar involucrados en las áreas de: producción y control de calidad de empresas acereras, tanto locales como internacionales, es necesario brindarles el entrenamiento adecuado para que ellos sean capaces de desempeñar su trabajo en estas industrias.

1.3 Justificación

1.3.1 *Justificación teórica*

Utilizando los conocimientos adquiridos en el área de resistencia de materiales y diseño mecánico, se va a disponer de información detallada para el diseño de los accesorios utilizados en ensayos a tracción, así como también las guías de procedimiento para su correcta aplicación y uso.

1.3.2 *Justificación metodológica*

La metodología de diseño específica para el diseño y la construcción de los accesorios requeridos en ensayos a tracción de tubos de diámetros inferiores a 2 pulgadas es escasa, pero se la recopila de fuentes obtenidas de varias fuentes tales como: papers, tesis sobre diseño relacionado con equipo para ensayos, páginas web, etc. por lo cual como resultado se obtendrán metodologías de diseño específicas para este tipo de accesorios. Se elabora también una guía técnica donde se detalla el procedimiento a seguir para realizar con éxito el ensayo a tracción en tubería.

1.3.3 *Justificación práctica*

El proyecto se realiza para profundizar el conocimiento estudiantil con respecto a la resistencia de materiales, al tener una comparación entre tubos de distinto diámetro y material, comprobar si estos cumplen los estándares locales e internacionales de calidad. Para lograr esto de una manera efectiva, se requieren de los accesorios y guías técnicas para hacer los ensayos de resistencia a tracción en tubos y caños de acero más comerciales utilizados en la industria, que corresponden a tuberías de acero de 1/2 in para la conducción de agua potable dentro de viviendas y tubería de cobre de 1/2 in para la conducción de agua potable a elevada temperatura en el mismo campo de aplicación.

1.4 Objetivos

1.4.1 *Objetivo general*

Diseñar y construir mordazas para realizar ensayos a tracción en tubos de acero y cañerías de cobre de diámetro exterior menor a una pulgada de diámetro en la máquina universal y elaboración de los procedimientos para ejecutar dichos ensayos mediante la aplicación de la normativa vigente, para el Laboratorio de Resistencia de Materiales de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la ESPOCH.

1.4.2 *Objetivos específicos*

- Examinar el estado del arte de: la máquina universal, los accesorios y procedimientos para realizar ensayos a tracción en tubos de acero de sección circular y cañerías de cobre.
- Diseñar mordazas partiendo de un estudio de los requerimientos que debe cumplir este accesorio de la máquina universal, para poder realizar una adecuada selección tanto de materiales como de procesos de manufactura
- Generar un modelo computacional mediante un software CAD para luego simular el comportamiento mecánico que producen los esfuerzos entre las mordazas y la probeta a través de software basado en MEF.
- Construir un modelo físico y utilizable para realizar ensayos a tracción en tubos de acero y cañerías de cobre con dimensiones menores a una pulgada.
- Desarrollar una guía de laboratorio para el correcto uso de las mordazas en el desarrollo de ensayos a tracción para distintos tipos de tubos de sección circular.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO.

2.1 Tipos de tubo de sección transversal circular

2.1.1 *Tubería sin costura*

Ofrecen una resistencia mayor que los que poseen costura (soldados) ya que tienen una estructura homogénea, relativamente. Es por ello que son utilizados en escenarios de mayores requerimientos.



Figura 1-2: Fabricación de tubos sin costura

Fuente: (STEEL, 2018)

Son engendrados por laminación de una palanquilla de sección redonda, la cual es precalentada entre rodillos de compensación. Las velocidades altas de rodadura aunadas con las tensiones en el centro del material facilitan la perforación mediante una barra con punta. (ALACERO, 2018)

2.1.2 *Tubería con costura*



Figura 2-2: Tubos soldados o con costura

Fuente: (JNACEROS, 2018)

A diferencia de los tubos sin costura que son creados a partir de una sola palanquilla, este tipo de tubos se fabrican al unir varias partes, lo que permite tener espesores y diámetros mayores que tubería sin costura.

Son hechos a partir de bandas laminadas, mismas que se conforman en cilindros soldados por distintos métodos, el 80% al 100 % de la resistencia en la pared de un tubo se debe a la calidad y resistencia de la soldadura. (JNACEROS, 2018)

2.2 Ensayos a tracción en acero.

Una probeta es estirada axialmente por una fuerza de tracción mediante la máquina diseñada para este tipo de ensayo, se determina principalmente la deformación que ha sufrido, además de otras características mecánicas. (INEN, 2015)



Figura 3-2: Probeta para ensayos a tracción

Fuente: (AREATECNOLOGIA, 2017)

Evidentemente este tipo de ensayos se realizan en materiales dúctiles, como los materiales metálicos no ferrosos, ferrosos, plásticos, fibras, gomas, etc.

Los datos se pueden utilizar para comparar distintos materiales, comprobar cuál de ellos podrán resistir los esfuerzos que determinada aplicación requiera. (AREATECNOLOGIA, 2017)

2.2.1 Retos en los ensayos a tracción de tubos de sección circular

Este tipo de ensayos sobre productos de acero de sección circular surge debido a que en el país en la actualidad y bajo normativa, es necesario realizar este tipo de pruebas para asegurar la calidad del producto.

Este ensayo es importante para conocer el comportamiento de este tipo de tubos, y cómo van a responder a los diferentes tipos de esfuerzo a los cuales van a estar sometidos en condiciones de trabajo reales.

Las normas que se pueden utilizar para este tipo de ensayos serán las siguientes:

- ASTM A370 Standard Test methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products
- ISO 377:1997 Steel and Steel Products Location and preparation of samples and test pieces for mechanical testing

Los retos que se deben superar son, por ejemplo

- Geometría de la probeta: Debido a la geometría de la tubería que va a servir de probeta, las mordazas deben presentar un buen agarre para realizar el ensayo; pero con el cuidado suficiente para que no se presente deformación debido a que es una probeta hueca.
- Es necesario realizar una medición adecuada y correcta de la fuerza de tensión que se le aplica durante el ensayo a tracción para este tipo de probetas
- Tener elementos de sujeción adecuados para que se produzca un buen agarre y poder realizar el ensayo de una manera eficaz y precisa, además de los tapones adecuados para las probetas huecas,



Figura 4-2: Mordazas para tubos de acero de sección circular.

Fuente: (INSTRON, 2014)

2.3 Máquina Universal.

2.3.1 Descripción Funcional:

Esta máquina nos ayuda con la determinación de las zonas de mayor importancia en la resistencia de materiales mediante ensayos en probetas normalizadas, estas son:

- **Zona de Tensión:** Ensayo a la resistencia de la Tracción.
- **Zona de Compresión:** Ensayos de Compresión, Flexión y de Corte.

Para poder efectuar estas pruebas, la máquina utiliza únicamente la estructura superior ya que el soporte inferior sirve de base para la estructura anteriormente mencionada y además para alojar el sistema hidráulico.

La forma en la que opera la máquina es la misma siempre, es necesario además colocar los accesorios necesarios para realizar cada uno de los ensayos que se desee junto con las probetas a ser ensayadas. (CAMPO, 2017)



Figura 5-2: Máquina Universal

Fuente: (CAMPO, 2017)

2.4 Mordaza.

Son herramientas que nos permiten sujetar debido a fricción una pieza manteniendo una presión en las caras, estas mordazas pueden operar mediante un mecanismo de husillo o algún otro tipo de mecanismo. Pueden ser clasificadas por ejemplo en mordazas de base fija o giratoria, otra clasificación se da mediante accionamiento manual, neumático o hidráulico. (TINIUS OLSEN, 2018).

2.4.1 Tipos de mordazas:

- a. **Mordazas de tornillo.** La fuerza de sujeción se aplica manualmente o a través de un motor eléctrico en este tipo de mordazas y son utilizadas para ensayar con fuerzas pequeñas y probetas finas. (ZWICKROELL, 2018).



Figura 6-2: Mordaza de tornillo

Fuente: (ZWICKROELL, 2018)

- b. Mordazas de Cuña.** Están compuestas por una base maciza con muelas intercambiables, junto con una unidad de manejo para abrir y cerrarlas. (ZWICKROELL, 2018)



Figura 7-2: Mordaza de cuña

Fuente: (ZWICKROELL, 2018)

- c. Mordazas de tornillo-cuña.** Este tipo de mordaza combina las propiedades mecánicas de las mordazas que se detallaron anteriormente, la ventaja es que se puede realizar un apriete mayor gracias a su tornillo y se acomodan las probetas automáticamente debido a su geometría. (ZWICKROELL, 2018)



Figura 8-2: Mordaza de tornillo cuña

Fuente: (ZWICKROELL, 2018)

2.5 Materiales más utilizados en la manufactura de mordazas

2.5.1 Aceros

Estas son aleaciones que contienen Hierro-Carbono en mayor medida, a más de elementos como impurezas que son residuales de los procesos de obtención del acero.

2.5.2 Clasificación de aceros por porcentaje de carbono

- **Acero bajo carbono:**

Estos aceros tienen un porcentaje máximo de carbono de 0.25%C, lo que no permite ser tratados térmicamente debido a su incapacidad de formar martensita por lo tanto solo se endurecen por acritud. (CALLISTER , y otros, 2016 págs. 434-435)

- **Acero medio carbono:**

Con porcentajes de carbono que van desde los 0.25%C a los 0.6%C ya permiten un tratamiento térmico de temple y revenido, llevando a la microestructura a la austenización. Este tipo de aceros poseen baja templabilidad por lo tanto se puede realizar el tratamiento térmico en piezas de sección delgada y con velocidades de temple muy rápidas. (CALLISTER , y otros, 2016 págs. 436-437)

- **Aceros de alto carbono:**

Este tipo de aceros tienen un porcentaje en su aleación que corresponde a un 0.6%C hasta un 1.4%C y debido a este porcentaje de carbono son duros, resistentes y menos dúctiles que los demás aceros mencionados con anterioridad. Por lo regular se usan en condición de temple y revenido (CALLISTER , y otros, 2016 págs. 437-438)

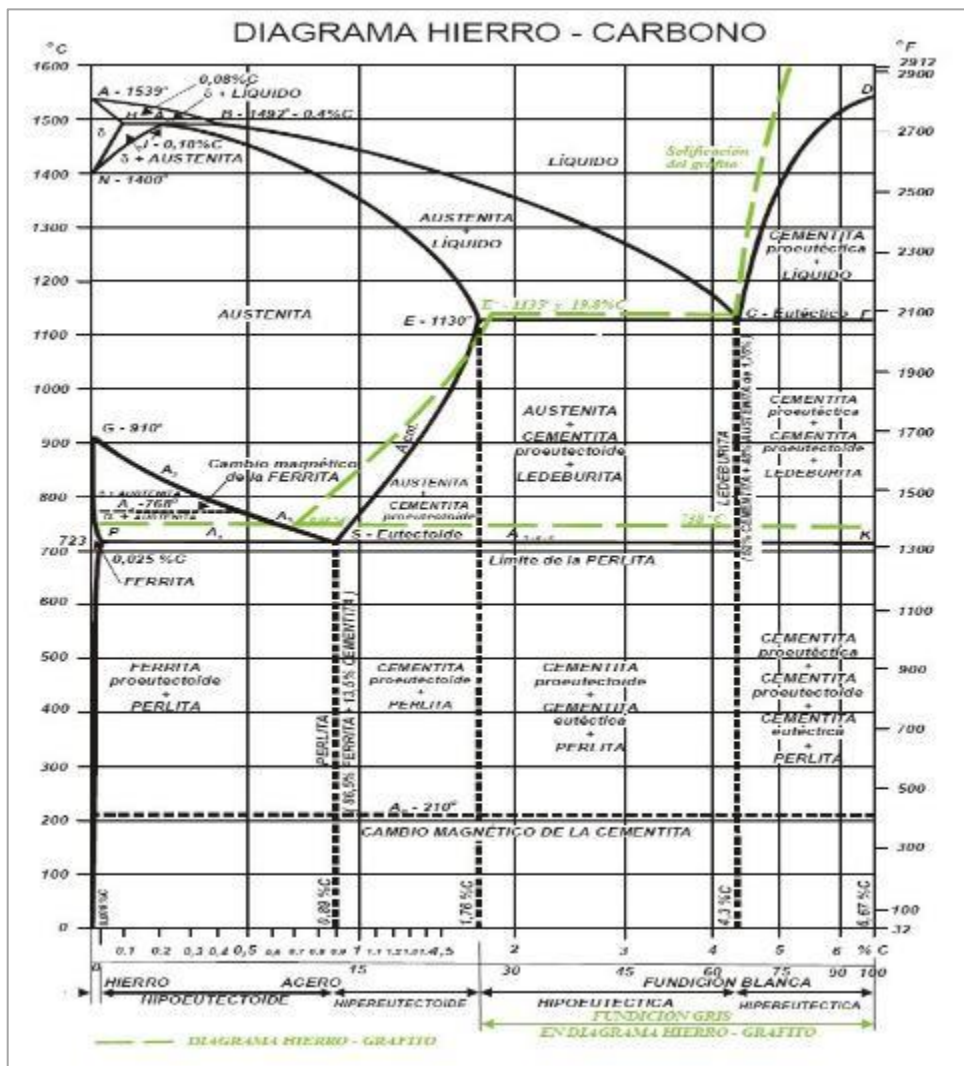


Gráfico 1-2: Diagrama Hierro-Carbono

Fuente: (UTP, 2013)

- **Aceros aleados:**

Se denomina aceros aleados a aquellos aceros que presentan elementos aleantes que mejoran sus características mecánicas, no se debe confundir elementos de aleación con el manganeso (hasta 0.90%) y el silicio (hasta 0.30%) debido a que estos elementos se encuentran siempre presentes en los aceros pero con la única finalidad de servir como desoxidantes ya que actúan al combinarse con el oxígeno y con el azufre para reducir los efectos perjudiciales que estos últimos elementos causan sobre los aceros.

Propósitos de la aleación. (AVNER, 1988 pág. 348).

- Su templabilidad es mejorada.
- Resiste de mejor manera temperaturas consideradas comunes en el ámbito laboral.
- Las propiedades mecánicas presentan mejores características si están a temperaturas relativamente altas, así también como a bajas temperaturas.
- Darle al acero una tenacidad elevada independientemente de su dureza superficial.
- Aumentar la dureza.
- Mejorar la resistencia a la corrosión.

2.5.3 *Influencia de los elementos de aleación en el diagrama hierro-carbono.*

Los elementos de aleación hacen que los intervalos críticos cambien, la posición donde se ubica el punto eutectoide y la localización de las zonas alfa y gamma. Para saber cómo el diagrama hierro-carbono varía en función de cada elemento de aleación serán muy útiles las siguientes figuras, por ejemplo, en la primera se ve como es influenciada la temperatura del punto eutectoide:

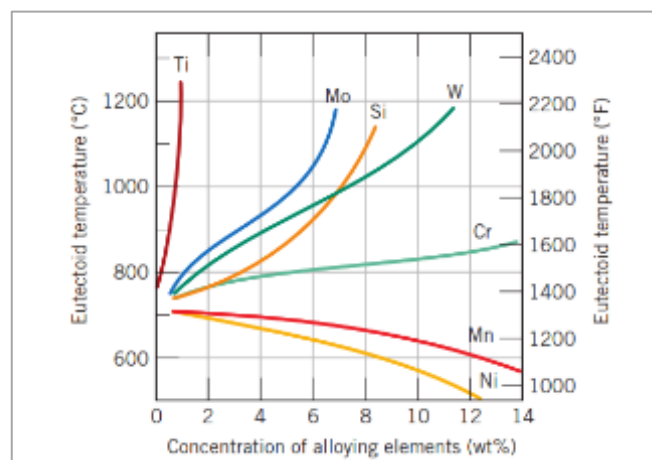


Gráfico 2-2: Temperatura eutectoide para distintos elementos aleantes

Fuente: (CALLISTER , y otros, 2016)

Mientras que, si se habla de la posición del punto eutectoide, este también varía dependiendo del elemento de aleación que se use:

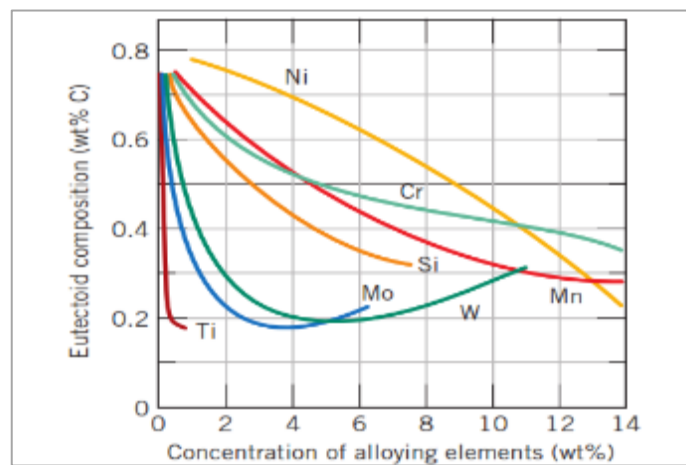


Gráfico 3-2: Posición punto eutectoide con distintos elementos aleantes

Fuente: (CALLISTER , y otros, 2016)

Níquel y Manganeso: este par de elementos logran reducir en el acero la temperatura crítica de calentamiento.

Tungsteno, Molibdeno, Silicio, y Vanadio: Estos elementos al contrario de los citados anteriormente lo que hacen es aumentar la temperatura crítica de calentamiento.

Esta propiedad de los elementos de aleación se debe considerar, ya que es determinante en un tratamiento térmico debido a que dependiendo del elemento aumenta o disminuye la temperatura crítica de endurecimiento con respecto a un acero no aleado. (CALLISTER , y otros, 2016 págs. 374-375)

Mientras que, para el porcentaje de carbono en el punto eutectoide, se puede mencionar que todos los elementos de aleación logran reducir el contenido de carbono en este punto, mientras que cabe recalcar únicamente el Níquel y el Manganeso disminuyen la temperatura eutectoide. Dependiendo de la cantidad de estos elementos se puede conseguir que la fase austenítica mediante enfriamiento lento se mantenga a temperatura ambiente en el acero, por ejemplo la austenita se mantendrá como en aceros inoxidable austeníticos.

2.5.4 Aceros especiales.

Al mencionar aceros especiales se engloba una gran variedad de aceros, los cuales son usados para distintos fines como, por ejemplo: aceros para herramientas, baja aleación

con alta resistencia, micro-aleados, aceros para cementación, fase dual, etc. (ASKELAND, y otros, 2017 págs. 340 - 341)

- Aceros para herramienta
- Aceros de baja aleación y alta resistencia (HSLA) y los micro-aleados
- Aceros de fase dual
- Aceros para cementación

La calidad de los aceros para cementación debe obedecer a las necesidades del mercado que se pueden resumir en tres puntos, estos son: exigencias del consumidor que pide alta calidad, técnicas adecuadas de manufactura de estos aceros y métodos de control para verificar la calidad del producto.

Pero es necesario mencionar que este tipo de exigencias no son exclusivas para este tipo de acero, sino más bien para todo tipo de acero especial, más bien es de especial cuidado tomar en cuenta aquellos procesos de fabricación, en los cuales se le agrega elementos para que el acero para cementación tenga esa propiedad de adquirir dureza superficial de una manera relativamente sencilla. (ACEROS DE LLODIO, 1975 págs. 51-60)

Lo que se puede mencionar de las necesidades que se tiene para estos aceros son las siguientes:

- Composición química
- Adecuada templabilidad
- Límites al crecimiento del tamaño de grano
- Control macro y micro inclusiones
- Apropiada maquinabilidad

Por ejemplo, para la construcción de engranajes con los que se transmite potencia en vehículos pesados se emplean fundamentalmente este tipo de aceros porque es necesario tener un control elevado de los defectos en este acero. (BERCK, 1950 págs. 76-82)

Este grupo de aceros para cementación está conformado por aquellos con bajo contenido de carbono y con un limitado número de elementos de aleación siendo fundamental el Cr, Ni, Mn y Mo.

Para realizar la manufactura de piezas con aceros cementados se deben tomar en cuenta factores de forma y dimensión, además es importante tener presente una serie de características que deben concurrir y ser consideradas de vital importancia, estos se pueden considerar los siguientes:

- Alta capacidad para absorber carbono a las temperaturas adecuadas de cementación dependiendo del tipo de procedimiento elegido, de esta manera se garantiza la profundidad de penetración establecido en el cálculo.
- Alta resistencia mecánica para los esfuerzos que se generan en su ciclo de trabajo
- Adecuada templabilidad del acero
- Fácil mecanización
- Adecuado tamaño de grano

Los aceros para cementación se estudian debido a la importancia que tiene una buena templabilidad en la capa cementada y el uso de la cementación gaseosa con temple directo.

En los aceros para cementación, el tratamiento térmico es engorroso debido a que las piezas construidas de estos aceros después de realizado dicho tratamiento presentan tendencia a la deformación durante el ciclo de cementación, seguido de temple y la tendencia a retener austenita.

Los elementos de aleación que se encuentran en este tipo de aceros tienen efectos en su microestructura, por ejemplo, se puede numerar los siguientes: (AVNER, 1988 pág. 349)

- **Efectos del silicio (Si)**

Tanto el silicio (Si) como el manganeso (Mn) son buenos desoxidantes debido a su bajo costo y efectividad. Por ejemplo, cuando el acero tiene más del 0.60% de Si se puede considerar como acero al silicio. El silicio no forma carburo, más bien disuelve en ferrita lo que logra aumentar la resistencia y tenacidad del acero. (CALLISTER , y otros, 2016 págs. 374-375)

- **Efectos del manganeso (Mn)**

Este elemento es un excelente desoxidante tal como el elemento mencionado anteriormente (Si), aparte de esta característica el manganeso nos ayuda a reducir la tendencia del acero a la fragilidad en caliente, la cual se la conoce como fragilidad al rojo que se da debido a la presencia del azufre. (AVNER, 1988 págs. 350-354)

Cuando se tiene un contenido de manganeso superior a un 0.80% se puede considerar un acero aleado, este elemento nos ayuda a subir la resistencia y la dureza siendo este más efectivo que añadir más carbono al acero. También cabe mencionar que el manganeso es un débil formador de carburo y tiene un efecto moderado sobre la templabilidad. (CALLISTER , y otros, 2016 págs. 374-375)

- **Efectos del cromo (Cr)**

Este elemento ayuda a la formación de carburos en las aleaciones hierro-carbono, son carburos de tipo simple como, por ejemplo: Cr_7Cr_3 , Cr_4C o puede llegar a formar carburos complejos por ejemplo $(\text{FeCr})_3\text{C}$. Como es sabido, los carburos de este tipo tienen alta dureza y una excelente resistencia al deterioro. Este elemento es soluble hasta el 13% en hierro γ y tiene solubilidad ilimitada en ferrita α . Cuando se tienen aceros de bajo contenido de carbono el cromo penetra en la solución, lo que ayuda a incrementar la resistencia y tenacidad de la ferrita. (AVNER, 1988 págs. 350-354)

Para acero al cromo 51XX que se sabe que tienen 0.15 a 0.64% de carbono y 0.70 a 1.15% de cromo generalmente es necesario realizar una cementación. Es gracias al cromo que el acero aumenta su resistencia al desgaste de la superficie que fue endurecida conservando la tenacidad en el interior de la pieza. (CALLISTER, y otros, 2016 págs. 374-375)

- **Efectos del molibdeno (Mo)**

Si hablamos sobre los efectos del molibdeno en aceros para cementación, se puede mencionar que este elemento influye directamente en la templabilidad de la capa cementada, como del núcleo de la pieza en sí. (CALLISTER, y otros, 2016 págs. 374-375)

2.6 Selección de materiales.

Para la correcta selección de un material se deben tener en cuenta ciertos factores, los cuales dependen del trabajo que va a realizar, el lugar, condiciones ambientales, y demás. Factores que inciden en la selección de materiales:

2.6.1 Factores Físicos.

Estos factores son el peso del material, el tamaño y la forma necesaria, además del espacio disponible para un componente específico. Tanto tamaño como la forma de la pieza da ciertas restricciones a los tratamientos que se pueden dar al material. (MANGONON, 2001 pág. 433)

2.6.2 Factores Mecánicos.

Son las propiedades mecánicas que un material tiene, lo cual le da la capacidad de soportar los esfuerzos a los cuales será sometida la pieza, además con estas propiedades se puede determinar criterios de falla. (MANGONON, 2001 pág. 433)

2.6.3 Procesamiento y fabricabilidad.

Raramente se encontrará una pieza lista, que no requiera un proceso de manufactura, por ello se debe tener en cuenta cuan factible es maquinar el material base seleccionado para llegar a la pieza final. (MANGONON, 2001 pág. 433)

2.6.4 Factores de duración de componentes.

Estos tratan la vida útil de la pieza. Tienen que ver con resistencia a la corrosión, al desgaste, a la oxidación, a la fatiga, que pueda resistir. (MANGONON, 2001 pág. 433)

2.6.5 Costos y disponibilidad.

El costo es uno de los factores primordiales cuando se realiza diseño y construcción, ya que la idea es siempre minimizar el precio de un ítem lo más que se pueda. Para agregar, la disponibilidad es si existe el material deseado y en el volumen requerido. (MANGONON, 2001 pág. 433)

2.6.6 Rendimiento y eficiencia de los materiales.

Otro concepto a tener en cuenta es el índice de rendimiento o eficiencia es uno de los factores ponderantes para la selección de un material. En base a las propiedades que presenta un material es esperado un cierto comportamiento. Con frecuencia, la opción adecuada no se basa en una sola propiedad, más bien en una combinación de distintas propiedades, para de esta forma reducir el costo sin que haya detrimento en la funcionalidad del elemento. (MANGONON, 2001 pág. 437)

2.6.7 Diagramas de materiales

Para facilidad de diseño, se utilizan los diagramas de materiales, en los cuales se hace una comparación entre un par de propiedades. Estos diagramas agrupan a los diferentes

2.6.8 *Falla de material.*

Se debe tener en cuenta, al seleccionar un material, las posibles fuentes de falla que este pudiera tener. Las fuentes de falla pueden entrar en una combinación de las siguientes categorías: (MANGONON, 2001 pág. 452)

- Diseño deficiente.
- Pobre selección de materiales.
- Desperfectos en el material.
- Errores de fabricación y tratamientos térmicos.
- Traspies de montaje.
- Circunstancias de servicio no adecuadas.

2.6.9 *Diseño deficiente.*

Los errores de diseño más frecuentes, y al mismo tiempo más evitables, son la presencia de concentradores de esfuerzos a manera de muescas o cambios abruptos de dirección. Otra de las fallas típicas es el uso de pocos criterios de falla e insuficientes variables que están actuando en el desempeño de la aplicación deseada. (MANGONON, 2001 pág. 452)

2.6.10 *Pobre selección de materiales.*

Los materiales deben ser elegidos según las cargas que soportarán, esfuerzos, posibles tipos de fallas, condiciones a las que será expuesto.

Una mala elección del material hará que éste no sea capaz de soportar los esfuerzos a los que esté sometido, lo que puede llevar a una fractura temprana por fatiga al poco tiempo de operación o a que éste no soporte los tratamientos posteriores de temple, recubrimientos o unión por solda que puedan necesitarse. (MANGONON, 2001 pág. 453)

2.6.11 *Desperfectos en el material.*

Son imperfecciones presentes en un material, pueden deberse a la fabricación, tratamiento o manejo del material. Se muestran como inclusiones, impurezas, fisuras, porosidad.

Se debe tener en cuenta ello, ya estos defectos concentran esfuerzos y no permiten que el material se comporte de la forma esperada, debido a que sus propiedades cambian. (MANGONON, 2001 pág. 445)

2.6.12 *Errores de fabricación y tratamientos térmicos.*

La predisposición a la falla puede deberse a inadecuadas condiciones de tratamiento, usar procedimientos distintos a los especificados, fallos del operario, especificaciones variadas sin haber evaluado correctamente, daños accidentarios.

El formado en frío y operaciones similares, crean esfuerzos residuales que en ocasiones alteran las cualidades mecánicas en pequeñas zonas o en toda su masa, lo cual ocasiona que la ductilidad tenga un agotamiento local. Procesos como la cizalla, punzonado, y perforación llevan a la aparición de bordes desgarrados o ásperos lo cuales son concentradores de esfuerzos. Por otro lado, el maquinado puede inducir a que el material tenga un sobrecalentamiento y por tanto un ablandamiento local, además de minúsculas grietas en aceros endurecidos.

Existen diversas maneras en las cuales un tratamiento térmico puede estar mal dado, como, por ejemplo, un insuficiente revenido, sobrecalentamiento, temperaturas de endurecidos demasiado bajas, variación de calor excesivo, condiciones de templado no adecuadas para el material a trabajarse. Cuando se produce descarburización en medio del tratamiento térmico estimula a fallas por fatiga, ya que el límite de resistencia de la superficie sufre pequeñas distorsiones. (MANGONON, 2001 pág. 455)

2.6.13 *Circunstancias de servicio no adecuadas.*

Cuando se opera saliendo de los límites establecidos en el diseño, como velocidades altas, cargas excesivas, ambiente corrosivo, etc., contribuyen de un modo u otro a que se den fallas. Por ello es imperativo seguir los procedimientos establecidos, para que funcione el equipo o pieza según se ha previsto. (MANGONON, 2001 pág. 456)

2.7 Difusión en sólidos

2.7.1 Introducción

Se denomina difusión al movimiento de los átomos, es decir que la materia se transporta cruzando materia tanto en gases, líquidos y sólidos, como es lógico y se puede observar en los gases que el movimiento de los átomos es rápido, tal como se aprecia cuando hay humo de vehículos, comida e inclusive olores desagradables. Si hablamos ahora de líquidos, este movimiento es más lento que en los gases, esto se puede ver por ejemplo cuando se vierte algún tipo de pigmento sobre un líquido y este se esparce relativamente rápido. Mientras que si hablamos de sólidos el movimiento de los átomos es bastante limitado debido a que como se conoce, los sólidos tienen enlaces atómicos fuertes para tener posiciones de equilibrio constante. (ASKELAND, y otros, 2017 pág. 155)

A pesar de este tipo de enlaces en los sólidos y especialmente en los metales, es posible que exista difusión de átomos gracias, por ejemplo, a vibraciones térmicas que hacen que cierto tipo de átomos se muevan. Y es de suma importancia esta difusión dentro de los metales debido a que esta es la única manera de que algunas reacciones en estado sólido sean posibles como por ejemplo la precipitación de una segunda fase a partir de una solución sólida, la nucleación y crecimiento de nuevos granos en la recristalización de un metal trabajado en frío. (ASKELAND, y otros, 2017 pág. 162)

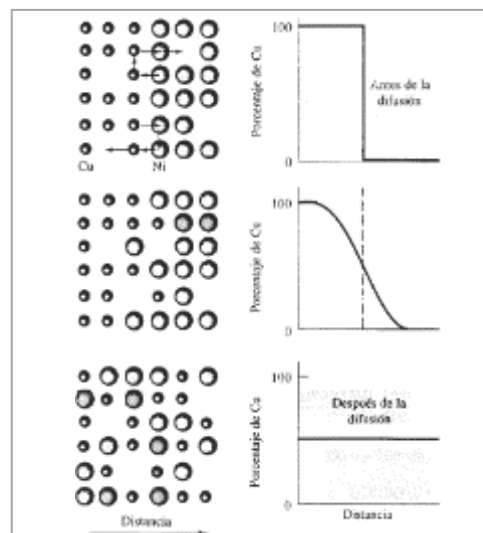


Figura 9-2: Difusión de átomos de cobre y níquel

Fuente: (ASKELAND, y otros, 2017)

La difusión en metales también ayuda a la homogeneización en un lingote, igualando las propiedades de este en toda su extensión, alivia esfuerzos, en el recocido, etc.

Es posible la difusión de átomos de un material dentro de un distinto material, por ejemplo, al soldar placas de cobre con níquel, hay una difusión del cobre en el níquel y viceversa, como se puede ver en la *Figura 9-2*. (ASKELAND, y otros, 2017 pág. 162)

La difusión es el proceso por el cual es posible realizar una cementación, es decir una carburización, nitruración y por ende una carbonitruración, etc.

2.7.2 *Mecanismos de difusión*

Existen dos mecanismos de difusión que se consideran los más importantes dentro de una red cristalina, estos son:

Difusión por vacancia o mecanismo sustitucional

En este tipo de difusión un átomo abandona su posición en la red para poder llenar una vacancia que se encuentre cerca, esto crea una nueva vacancia donde estaba ubicado el átomo que saltó. La tasa de difusión es mayor cuando más alta es la temperatura.

Cuando existen diferencia entre el tamaño de los átomos, y la energía de los enlaces la velocidad de difusión puede verse afectada. (ASKELAND, y otros, 2017 pág. 162)

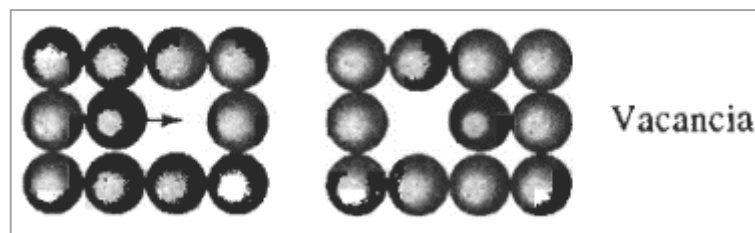


Figura 10-2: Difusión de átomos por vacancia

Fuente: (ASKELAND, y otros, 2017)

La energía que se necesita para que se produzca este tipo de difusión o llamada también energía de activación es igual a la energía de activación para formar una vacancia más la energía de activación para desplazar el átomo hasta la vacancia.

Difusión intersticial

Esto ocurre en las redes cristalinas cuando los átomos van de un lugar intersticial a otra que se encuentre próxima esto lo logran sin la necesidad de desplazar átomos de la red cristalina a su paso. (ASKELAND, y otros, 2017 págs. 162-163)

Átomos como oxígeno, hidrógeno, nitrógeno y carbono suelen ser buenos para este fin debido a que son más pequeños que los átomos de la matriz cristalina de un metal, es posible que se puede realizar la difusión con estos átomos.

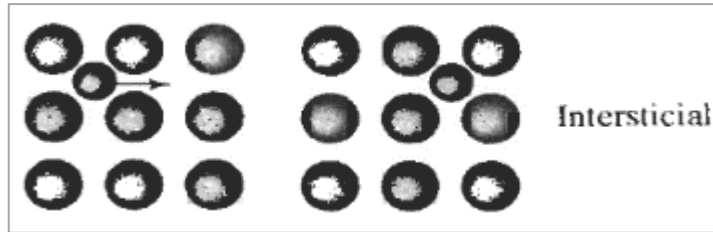


Figura 11-2: Difusión de átomos intersticial

Fuente: (ASKELAND, y otros, 2017)

Se espera que este tipo de mecanismo es más efectivo al ser de mayor rapidez debido a que existen más intersticios que vacancias.

2.7.3 Energía de activación para la difusión

Esta energía de activación se la conoce como Q que es aquella que vence la barrera energética debido a que cuando el átomo se difunde este tiene que oprimir a los átomos vecinos para llegar hasta su nueva posición.

Si se puede esquematizar este fenómeno se puede representar como en la siguiente figura:

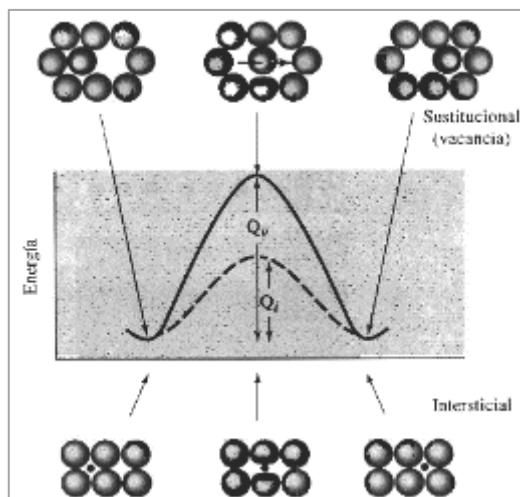


Figura 12-2: Energía de activación en la difusión de átomos

Fuente: (ASKELAND, y otros, 2017)

Donde se ve claramente que al inicio el átomo se encuentra en equilibrio y con baja energía, es aquí donde entra en juego la energía de activación Q , es el calor quien le da al átomo la energía necesaria para vencer la barrera y quitar de su camino a los átomos que se interponen en su trayectoria para finalmente quedar en una posición de equilibrio y baja energía nuevamente y en una posición estable. En la *Figura 12-2*, mostrada anteriormente, la línea continua representa la energía necesaria para completar el mecanismo de difusión por vacancia, mientras que la línea punteada representa el mecanismo de difusión intersticial. (ASKELAND, y otros, 2017 pág. 163)

2.7.4 Velocidad de difusión

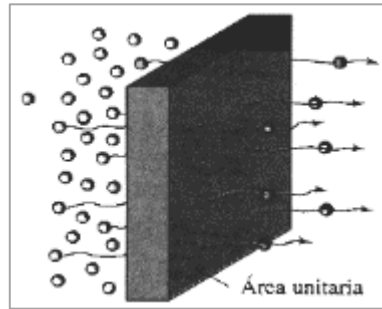


Figura 13-2: Flujo de átomos durante la difusión

Fuente: (ASKELAND, y otros, 2017)

Esta velocidad obedece a la primera ley de Fick, donde se mide el flujo de átomos J que representa la velocidad a la que se difunden, para tener un poco más de precisión en la definición de J , se puede decir que esta representa el número de átomos que pasan a través de un plano que tiene superficie unitaria medido por unidad de tiempo, este flujo neto de átomos sería (ASKELAND, y otros, 2017 págs. 164-165):

$$J = -D \frac{\Delta c}{\Delta x} \quad (3)$$

Donde:

J : Flujo de átomos (átomos/cm²*s),

D : Difusividad (cm²/s)

$\frac{\Delta c}{\Delta x}$: Gradiente de concentración (átomos/cm³*cm).

Para esto se tiene una ecuación que gobierna este fenómeno:

$$D = D_0 \exp\left(-\frac{Q}{RT}\right) \quad (4)$$

Donde:

D_0 : Constante (cm²/s)

Q : Energía de activación (cal/mol) o (J/mol)

R : Constante de los gases (1.987 cal/mol/K) o (8.314 J/mol/K)

T : Temperatura absoluta (K)

2.7.5 Segunda ley de Fick

Esta ley describe un estado dinámico de la difusión, a la cual se le puede expresar de la siguiente manera:

$$\frac{c_s - c_x}{c_s - c_0} = \operatorname{erf}\left(\frac{x}{2\sqrt{Dt}}\right) \quad (5)$$

Donde:

C_s : Concentración constante de átomos a difundir en la superficie del material

C_0 : Concentración uniforme de átomos inicial que van a ser difundidos en el material

C_x : Concentración de átomos que se difunden debajo de la superficie del material a una posición x en un determinado tiempo.

t : Tiempo

erf : Función error

Para esta ecuación se admite un modelo de análisis unidimensional, es decir que se supone que los átomos que se difunden solo se mueven en la dirección x . (ASKELAND, y otros, 2017 págs. 177-178)

La función error “ erf ” se puede evaluar mediante la siguiente tabla.

Tabla 1-2: Valores de la función error para la segunda ley de Fick

Argumento de la función error	Valor de la función de error
$\frac{x}{2\sqrt{Dt}}$	$\frac{x}{2\sqrt{Dt}}$
0	0
0.1	0.1125
0.2	0.2227
0.3	0.3286
0.4	0.4284
0.5	0.5005
0.6	0.6039
0.7	0.6778
0.8	0.7421
0.9	0.7969
1.0	0.8427
1.5	0.9661
2.0	0.9953

Fuente: (ASKELAND, y otros, 2017)

Si se desea saber la definición dentro de la matemática de la función error, se puede observar lo siguiente.

$$\operatorname{erf} = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x \exp(-y^2) dy \quad (6)$$

2.8 Tratamiento térmico

2.8.1 *Tratamiento térmico superficial*

Los tratamientos superficiales para acero son de distintos tipos, los más utilizados se pueden considerar los siguientes:

- Endurecimiento superficial por acción mecánica
- Endurecimiento superficial por temple
- Cementación
 - Carburación: cuando se añade carbono.
 - Carbonitruración: cuando se agrega carbono y nitrógeno.
 - Nitruración; se suma nitrógeno.
 - Calorizado: se adiciona aluminio.
 - Sulfinización: se añade azufre.
 - Cromizado o alfatización: se añade cromo.
 - Sherardización: se suma zinc.

La cementación es un tratamiento termoquímico, para llevarlo a cabo el material es calentado a una determinada temperatura; pero dentro de una atmósfera controlado que pueda entregar sólo carbono, carbono y nitrógeno, o nitrógeno, estos átomos se deben adherir a la superficie del elemento con una cierta penetración para que se forme una capa que tendrá mayor dureza, luego de ello, el material es enfriado de una manera adecuada, ya sea al aire, dentro del horno, o en un algún líquido. (BERCK, 1950 pág. 141).

Los tipos de carburación son:

- Cementación sólida.
- Cementación líquida. (baño de sales)
- Cementación gaseosa.

El acero se calienta dentro de un horno lleno de gas carbonáceo. Este gas puede ser: natural, etano, butano, monóxido de carbono. Los carburantes están constituidos por una composición de un gas portador endotérmico y de un gas carburante. Cuando los gases propano y butano son calentados entre 500°C a 600°C se disocian en metano, éste último se trasforma por pirólisis que se produce por altas temperaturas:



El carbono del gas cementante se difunde dentro de las piezas de acero. Por lo que es llenada de carbono la zona exterior de la pieza. La profundidad de difusión de carbono al acero es proporcional al tiempo que esté en el horno. Cuando se tiene la cantidad deseada de carbono se puede realizar el temple para obtener una capa dura. (AVNER, 1988 págs. 317-319)

Al igual que con la carburación sólida, en la gaseosa es necesario calentar las piezas hasta la austenización, de este modo el carbono puede penetrar completamente. El aumento de temperatura está entre los 815°C a los 980°C, dependiendo de la composición del acero que se esté tratando.

Las ventajas que presenta la carburación gaseosa frente a la sólida es que es un proceso más rápido, mismo que no necesita demasiada mano de obra. Usualmente, se puede controlar de manera más precisa la profundidad de penetración de la difusión. Además, es una mejor alternativa cuando se trata cantidades grandes de piezas.

La desventaja más importante que presenta la carburación gaseosa es el costo de equipos y materiales, los cuales son muy elevados; lo cual contrasta con la de tipo sólido, ya que ésta no requiere de materiales ni maquinaria muy especializada. (STURLA, 2002 págs. 313-386).

2.8.2 Carbonitruración

Es un tratamiento termoquímico de endurecimiento superficial parecido a la cianuración, pero en vez de desarrollarse en una atmósfera líquida o baño de sales, este tratamiento se desarrolla en una atmósfera gaseosa donde se combinan tanto carbono y nitrógeno para ser absorbidos en la pieza tratada de manera simultánea. (AVNER, 1988 pág. 326)

Este método de tratamiento superficial se lo conoce también como cianuración seca. Para detallar el procedimiento se puede describir como un tratamiento que consiste en calentar el acero hasta temperaturas aproximadas entre los 700°C a los 900°C dentro de una atmósfera controlada donde gases ricos tanto en carbono como en nitrógeno son absorbidos de manera simultánea durante un periodo definido de tiempo.

Una vez que ya se ha cumplido este tiempo es necesario enfriar la pieza de cualquier método conocido, por ejemplo: en agua, aceite, aire, baños de sales, etc. para darle un templado o normalizado dependiendo sea el caso. (STURLA, 2002 págs. 387-388)

Para que la atmósfera sea la adecuada es necesario que el gas contenga una mezcla de monóxido de carbono, nitrógeno e hidrógeno. Para añadir el carbono nos podemos ayudar de gas natural o propano, mientras que para obtener el nitrógeno es necesario utilizar amoníaco (NH_3) que se disocia para ceder el nitrógeno necesario. (BERCK, 1950 pág. 147)

La finalidad de realizar este tipo de tratamiento será:

- 1) Conseguir una dureza superficial que sea mayor que si se hiciera un tratamiento de carburación.
- 2) Acrecienta la templabilidad de la capa superficial debido a que se añade nitrógeno, esto nos puede ayudar a reemplazar un acero aleado con un acero al carbono.
- 3) Menor gasto de dinero al utilizar menos recursos debido a que se usa temperaturas inferiores que las que se emplean en la carburación.
- 4) La facilidad de realizar un temple directamente una vez terminada la carbonitruración.
- 5) Completo ahorro de recursos debido a que se puede usar aceros más baratos a los cuales no es necesario darles un tratamiento especial por tanto no se debe gastar demasiado.
- 6) Elevada resistencia a la fatiga, desgaste y corrosión.
- 7) Capacidad de descartar un afinado final debido a que hay menor deformación final.
- 8) Es imposible que exista un agrandamiento del grano gracias a este tratamiento térmico.
- 9) Disminuir la velocidad de enfriamiento.
- 10) Conseguir mayor sencillez en el acabado de la pieza ya que con un temple final se pueden conseguir los acabados de dureza y superficiales finales (CALLISTER , y otros, 2016 págs. 605-606)

La *Figura 14-2* muestra una porción externa carbonitrurada sobre un acero AISI c1213. Calentado a 1550°F durante 20 min en una atmósfera de amoníaco-propano, y luego templado en aceite. Atacado químicamente en Nital a 2%, 125x. Profundidad de la porción externa: aproximadamente 0.0025in. (AVNER, 1988 págs. 326-327)

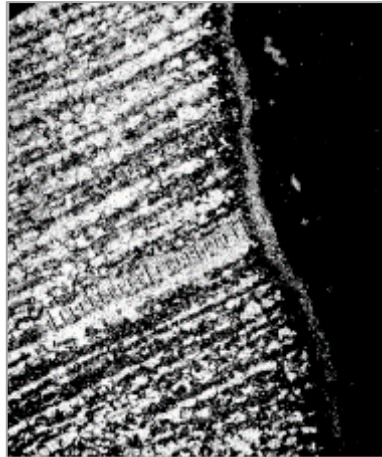


Figura 14-2: Acero carbonitrurado AISI c1213

Fuente: (AVNER, 1988)

Se pueden considerar como principales factores que intervienen durante el proceso de carbonitruración los siguientes:

- a) Temperatura: Es posible agrupar en rangos, los cuales se detallan a continuación:
 - Elevadas: entre 825 y 890°C.
 - Medias: entre 760 y 825°C
 - Bajas: entre 650 y 760 °C
- b) La composición de la cual están hechos los productos siderúrgicos con una amplia variedad de piezas y de composición de la pieza siderúrgica. Ya que debido a esto es posible carbonitrurar una enorme cantidad de piezas, se muestra la *tabla 2-2*, con un resumen de los materiales con los cuales se puede realizar una carbonitruración:

Tabla 2-2: Aceros SAE para cementación

S.A.E. 1000	Aceros al carbono
S.A.E. 1100	Aceros resulturados: azufre variable entre 0.08 a 0.33% (aceros de corte libre)
S.A.E. 1300	Aceros al manganeso (Mn=1.60/190%)
S.A.E. 3100	Aceros aleados al Cr-Ni
S.A.E. 4100	Aceros aleados al Cr-Mo
S.A.E. 4300	Aceros aleados al Cr-Ni-Mo
S.A.E. 4600	Aceros aleados al Ni-Mo
S.A.E. 5100	Aceros aleados al Cr
S.A.E. 8600	Aceros aleados al Cr-Ni-Mo

Tabla 2-2: (Continuación) Aceros para cementación.

S.A.E. 8700	Aceros aleados al Cr-Ni-Mo
S.A.E. 9400	Aceros aleados al Cr-Ni-Mo
S.A.E. 9800	Aceros aleados al Cr-Ni-Mo

Fuente: (ASKELAND, y otros, 2017)

- c) Tiempo: La penetración de la capa dura obtenida por la carbonitruración es función del tiempo de tratamiento.
- d) Cementante. Ambiente para la carbonitruración:

Atmósfera de horno:

- Amoniaco
- Gas natural
- Propano
- Gas portante
- Gas domestico

Es en este tipo de cementación gaseosa es de vital importancia el control de la atmósfera ya que no solo se debe realizar un control de la constancia de la composición química del gas, además es indispensable mantener una circulación uniforme y constante de dicho gas con una buena ventilación para que de esta manera haya uniformidad en la capa cementada de las piezas que se encuentran dentro del horno. (STURLA, 2002 pág. 388)

Además, tomando en cuenta que puede realizarse un temple directo desde el horno una vez terminado el ciclo del tratamiento superficial, las piezas deben mantener sus condiciones de atmósfera hasta que llegue a la temperatura adecuada que se seleccionó para el temple, si es que esta temperatura difiere de la de la carbonitruración. (AVNER, 1988 págs. 326-328)

La atmósfera tiene que ser regulada para que se dé una buena carbonitruración para prevenir la presencia de nitruro de hierro (Fe_2N) debido a que este compuesto hace que la capa se fragilice y sea fácil de desmenuzarse, que es todo lo opuesto a lo que se busca con el tratamiento de carbonitruración.

El gas portante se lo obtiene pasándolo entre 980 a 1000°C ya sea gas natural, propano, mezclado con aire teniendo una relación aire/gas=7, que debe ser sobre un catalizador que está formado por ladrillo refractario poroso, que deben ser saturados previamente con nitrato de níquel y secados a 100°C; después se calienta con rapidez en una corriente de aire a aproximadamente 350°C antes de ser utilizados. (BERCK, 1950 págs. 147-154)

La composición del gas portante que se produjo es aproximadamente

$\text{CO}=20.5\%$, $\text{H}_2=30\%$, $\text{CH}_4=0.6\%$, $\text{CO}_2=0.07\%$, $\text{N}_2=\text{aprox de } 50\%$

La mezcla gaseosa para la carbonitruración debe tener una temperatura de alrededor de 600°C antes de su combinación con el acero.

e) Tratamientos térmicos. Medio-velocidad de enfriamiento. Los tratamientos térmicos que se aplican a los aceros carbonitrurados son:

- 1) Temple directo que debe tener un enfriamiento continuo.
- 2) Temple en dos etapas.
- 3) Revenido

Un temple directo con enfriamiento continuo es posible hacerlo realizando un enfriamiento en:

- Aceite a temperatura ambiente
- Aceite a temperatura 80°C
- Aceite soluble disuelto en agua
- Un normalizado
- En una solución acuosa que se le puede enfriar hasta alrededor de -20°C
- En un ambiente a -60°C

Según Pomey, es posible realizar un enfriamiento directo continuo, para esto se realiza un recocido desde la temperatura seleccionada que puede ser la temperatura de carbonitruración, es decir se deja que enfríe dentro del horno.

Temple en dos etapas:

- 1er. etapa: Esta etapa se la realiza enfriando en baños de sales fundidas para llegar a la transformación isotérmica del núcleo.
- 2da. etapa: Un temple o enfriamiento inmediato justo después del tratamiento inferior en agua o aceite

Para este temple de dos etapas se procede de la siguiente manera: la finalidad de producir una transformación isotérmica en el núcleo es tratar de evitar que en aceros que son semiduros, la ferrita proeutectoide se separe de una forma drástica. Para conseguir perlita laminar fina, así como troostita se debe introducir la pieza apenas se la saca del ciclo de carbonitruración en un baño de sales a temperatura intermedia elegida ya que con esto conseguimos la máxima velocidad de transformación de perlita laminar, mientras que si se lo hace un poco por debajo de esta temperatura se consigue troostita. La selección de la temperatura debe ser la adecuada como para

estar en armonía con las características requeridas para el núcleo. (STURLA, 2002 págs. 407-411).

La curva pertenece a un acero Cr-Mo: C=0.35%, Cr=1.2%, Mn=0.7%, Mo=0.35%, Ni=0.3% que fue austenizado a 810°C durante 1,5 horas.

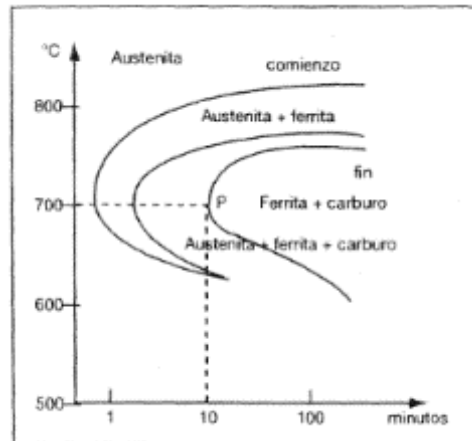


Gráfico 5-2: Curvas de descomposición de la austenita

Fuente: (STURLA, 2002)

El tiempo que debe permanecer la pieza en el baño de sales está dado en la siguiente figura por la abscisa que interseca el punto P, que es lo necesario para lograr la transformación total de la austenita del núcleo.

Se aprovecha de inmediato para realizar un temple que nos da como resultado martensita en la capa carbonitrurada, para esto lo más sencillo es realizar dicho temple en agua ya que el núcleo como ya se transformó, no puede cambiar su microestructura, por lo tanto, no puede endurecer, en consecuencia, no se fragiliza, además que la contracción que se produce por este temple, produce un efecto positivo al estado de compresión. (STURLA, 2002 págs. 407-411)

Es posible realizar un revenido después del temple que se mencionó, este procedimiento tiene dos finalidades principales

- Mejora las propiedades que tiene la capa que fue carbonitrurada disminuyendo un poco su dureza, pero disminuyendo tensiones superficiales
- Modifica de alguna manera las características del núcleo en concordancia con los requerimientos que se desean obtener.

El revenido puede llevar aproximadamente entre una y dos horas dependiendo de las propiedades del acero en que se está trabajando, mientras que las temperaturas para

realizar el revenido de la pieza tratada están en el orden de los 150 a 540°C. (SHACKELFORD, 2010 págs. 341-345)

Como se mencionó, la pérdida de dureza o ablandamiento de la capa endurecida de la pieza debido al revenido difiere dependiendo de la temperatura, para eso se usará la *gráfica 6-2*, donde se puede apreciar de una mejor manera este hecho.

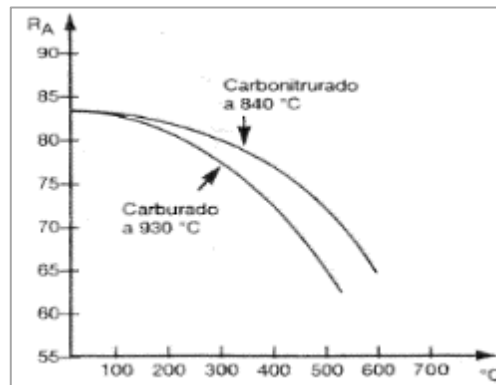


Gráfico 6-2: Acero SAE 1020 carburado y carbonitrurado

Fuente: (STURLA, 2002)

En resumen, sobre la carbonitruración se puede expresar que es necesario reducir austenita residual que suele encontrarse en la capa endurecida debido a efectos del nitrógeno, para esto se puede realizar alguno de los siguientes procedimientos:

- Tener un gas portante que no sea muy rico en amoníaco
- Cortar el flujo de amoníaco solo en la última parte del ciclo de carbonitrurado, esto produce difusión del nitrógeno y por tanto reduce la concentración del mismo.
- Realizar un revenido adecuado
- Realizar un enfriamiento bajo cero después de realizar el temple en aceite ya que con este procedimiento logramos aumentar la cantidad de austenita transformada en martensita.

Ventajas de la carbonitruración:

- 1) Gracias a la presencia del nitrógeno aumenta la templabilidad.
- 2) Reducción de costos debido a una disminución del consumo de energía del horno ya que es posible templear la pieza a temperaturas más bajas, con la ventaja de poder realizar e tratamiento de temple desde la temperatura de carbonitruración.
- 3) Se tiene un mejor acero tratado ya que al tener menores velocidades de temple, se previenen distorsiones, alabeos, agrietamientos y roturas.

- 4) Mejora la resistencia a la corrosión, al desgaste y fatiga gracias a los compuestos formados en la capa endurecida.
- 5) Desaparecen puntos blandos o débiles, que se presentan en la carburación.
- 6) Mayor dureza que en la carburación.
- 7) Se consigue una dureza más estable al revenido.
- 8) Disminución de costos en cuanto corresponde a inversiones en acero, ya que se usa aceros al carbono ya que este tratamiento nos da esa opción en contraposición a utilizar aceros aleados más costosos. (STURLA, 2002 págs. 412-414)

2.8.3 Templabilidad.

Esta propiedad determina la aptitud de una aleación de acero para endurecerse por transformación de martensita fruto de un tratamiento térmico. Un material de alta templabilidad es aquel que endurece en su interior, además del obvio endurecimiento superficial; es decir, esta propiedad es una medida de cuan profundo llega la dureza en una aleación específica.

El *gráfico 7-2* representa la “penetración de la dureza” en distintos tipos de acero; si bien, en la superficie las probetas alcanzan una dureza uniforme superior a 50 HRC, el acero AISI 4340 (1.85 Ni, 0.80 Cr, y 0.25 Mo) tiene una mayor templabilidad, ya que la dureza baja de en una proporción pequeña, luego de dos pulgadas, dando un gradiente de dureza relativamente pequeño de 7 HRC aproximadamente. (CALLISTER , y otros, 2016 pág. 594)

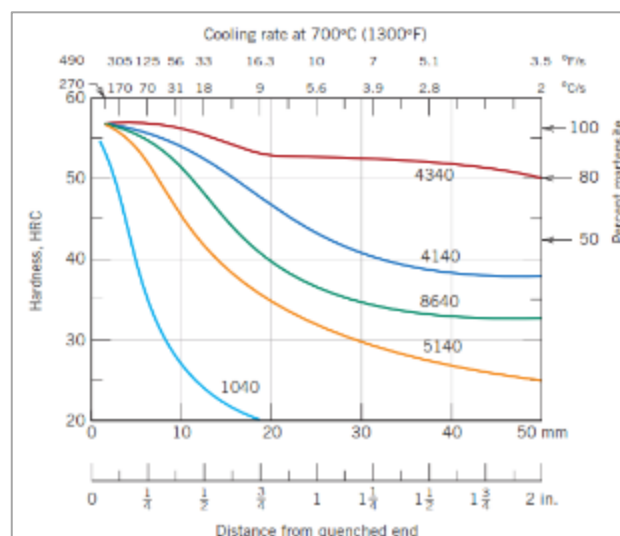


Gráfico 7-2: Templabilidad para diferentes aceros aleados

Fuente: (CALLISTER , y otros, 2016)

No es adecuado usar un material que posea una extrema dureza sin un núcleo tenaz que le permita soportar otros requerimientos además del desgaste superficial. Por esta razón se necesita que las propiedades, como por ejemplo una alta dureza superficial y tenacidad estén combinadas en un elemento mecánico; para este tipo de aplicación la mejor solución es el endurecimiento superficial selectivo.

Dicho tipo de endurecimiento es obtenido por el temple. (STURLA, 2002 pág. 184)

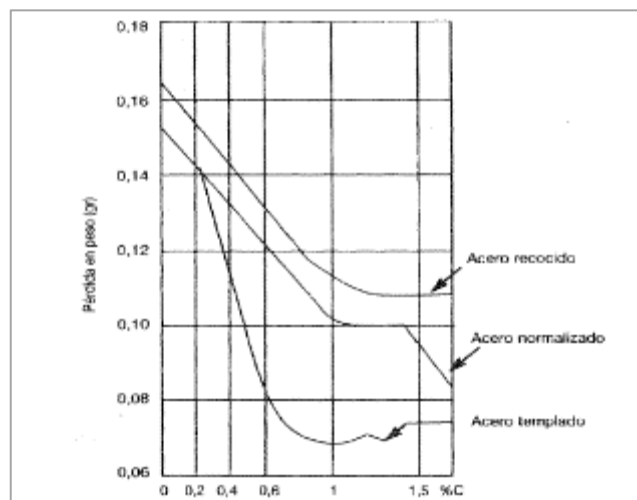


Gráfico 8-2: Desgaste de aceros por el contenido de carbono

Fuente: (STURLA, 2002)

- **Objetivos del temple superficial:**
 - Acrecentar dureza periférica, mejorando así la resistencia al desgaste.
 - Incrementar resistencia a la fatiga en piezas sometidas a impacto.
 - Elevar resistencia y límite de fatiga.
- **Factores a tener en cuenta en el temple superficial**
 - Constitución química del material base.
 - Estado en el que está estructuralmente el material.
 - Temperatura a la cual se calentará.
 - Permanencia del calentamiento.
 - Velocidad de enfriamiento.

CAPÍTULO III

3. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN

3.1 Parámetros de diseño.

En un diseño óptimo se analizarán únicamente los valores con los que trabajan las tuberías de acero más no las de cobre, debido a que este material presenta esfuerzos mayores a vencer en sus probetas, y una vez obtenidos los valores necesarios podemos estar seguros de que nos servirá para las tuberías de cobre ya que este último tiene propiedades mecánicas inferiores que las del acero.

3.1.1 *Dimensiones bastidor y mordazas*

Se tomará en cuenta las dimensiones de bastidor de la máquina universal y la longitud máxima de desplazamiento de la mesa móvil, es de 943mm

3.1.2 *Dimensiones de la probeta*

Es necesario tomar en cuenta el diámetro externo que tienen las tuberías de acero para que encaje de mejor manera dentro de la garganta de las mordazas y le dé un agarre preciso, esto quiere decir que mientras mejor diseñada la garganta, habrá menos probabilidad de que la probeta vaya a resbalar al momento de estar realizando el ensayo.

3.1.3 *Dimensiones del tapón*

Se debe considerar el diseño de un tapón debido a que en este tipo de ensayo la probeta se deformaría a causa de las fuerzas de agarre en los extremos, es necesario tomar en cuenta las indicaciones que nos da la norma ASTM E8, sección 6.

3.1.4 *Fuerzas en el ensayo*

Corresponde a la fuerza necesaria que se aplica a la probeta al realizar el ensayo a tracción. Es indispensable conocer esta fuerza debido a que esta es la de mayor magnitud y la cual puede producir un deslizamiento de la tubería, lo cual es perjudicial para el ensayo

3.1.5 *Materiales a utilizar*

En este apartado hay que tomar en cuenta materiales que tengan alta dureza superficial debido a que es necesario evitar las deformaciones en un ensayo adecuado y además es indispensable que el núcleo del material tenga una buena tenacidad para que aguante los esfuerzos que se presentan en cada una de las pruebas. Por lo tanto lo más adecuado sería un acero que acepte tratamiento superficial de endurecimiento.

3.2 Variables de diseño

3.2.1 *Identificación de las necesidades*

Se requiere de un accesorio adecuado para realizar ensayos a tracción en la máquina universal debido a que las necesidades de la industria en la actualidad obligan a las acereras a cumplir altos estándares de calidad, y que mejor que preparar a los estudiantes de la Facultad de Mecánica para que una vez terminada su etapa universitaria tengan entrenamiento adecuado.

Voz del usuario

- Bajo costo
- Fácil operación
- Simple montaje y desmontaje
- Múltiples diámetros
- Agarre no debe deformar el tubo o el caño
- Fiabilidad
- Eficiencia
- Buen agarre
- Durabilidad
- Didáctico
- Bajo peso

Voz del ingeniero

- Normas de Tubos y caños
- Normas de ensayos
- Material de los componentes
- Fuerza de tracción
- Mecanismo de agarre
- Longitud de la probeta
- Resistencia a la deformación
- Dimensiones de tapón adecuadas
- Volumen del accesorio
- Amplia gama de diámetros

3.2.2 Despliegue de la función de la calidad

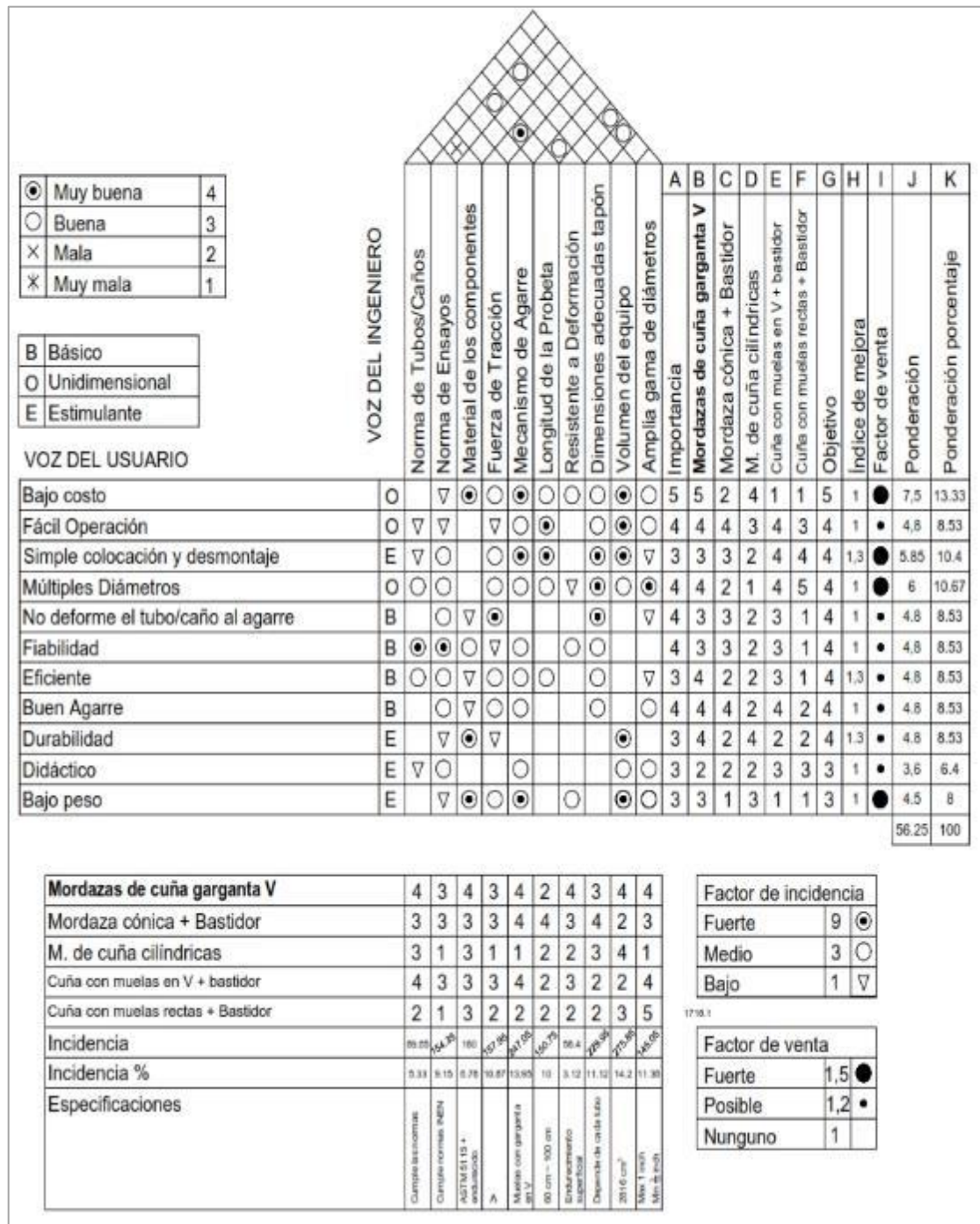


Figura 1-3: Casa de la calidad

Realizado por: Meneses Alexis, Vásconez Fernando. 2018

3.2.3 Diseño conceptual

Tras determinar las características técnicas generales que los accesorios deberán tener, se llevará a cabo un análisis funcional para que de ello se puedan definir módulos y generar

así las alternativas que serán las posibles soluciones, y de ellas obtener la opción que se considerará óptima.

Nivel cero

Como nivel cero tenemos la función más básica que el accesorio realizará, por ello se lo representa a manera de un solo bloque en el cual entran las variables de “Energía mecánica de reacción” y las “probetas” para que se dé un agarre adecuado. Éste esquema se lo puede observar a continuación:

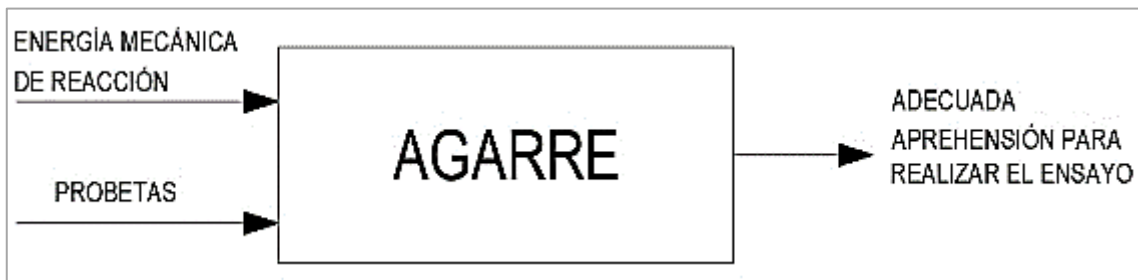


Figura 2-3: Función nivel cero

Realizado por: Meneses Alexis, Vásconez Fernando. 2018

NIVEL 1

Para el nivel uno del análisis funcional, se trata de obtener algo más detallado, en el cual se puedan separar módulos para una mejor elección de la opción de diseño óptima.

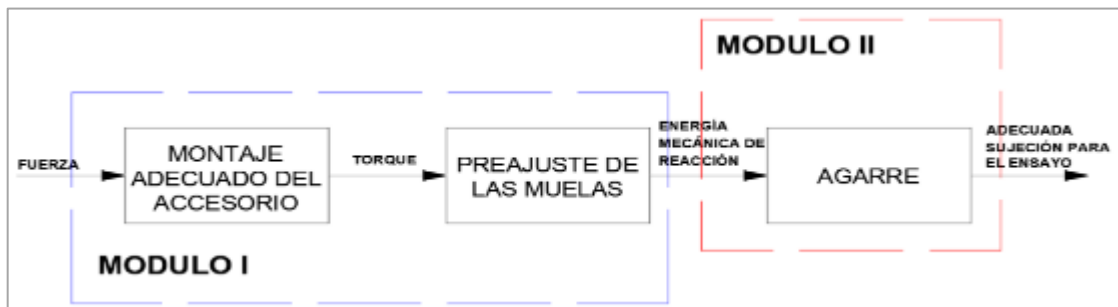


Figura 3-3: Función nivel uno.

Realizado por: Meneses Alexis, Vásconez Fernando. 2018

Los módulos identificados luego del análisis son:

- Módulo I: Montaje de muelas y probeta.
- Módulo II: Agarre de la probeta, proporcionado por las muelas.

3.2.4 Desarrollo de las soluciones para cada módulo

Alternativa 1: Mordaza de cuña con garganta en V

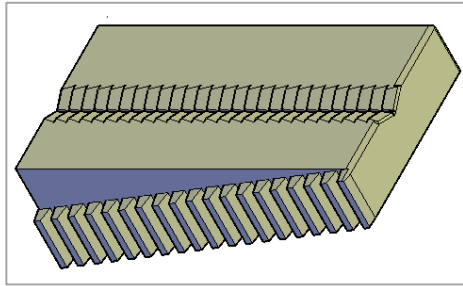


Figura 4-3: Mordaza de cuña con garganta en V

Realizado por: Meneses Alexis, Vásconez Fernando. 2018

Alternativa 2: Mordaza de cuña en forma de cono con bastidor



Figura 5-3: Mordaza cilíndrica con bastidor

Realizado por: Meneses Alexis, Vásconez Fernando. 2018

Alternativa 3: Mordaza de cuña con garganta cilíndrica

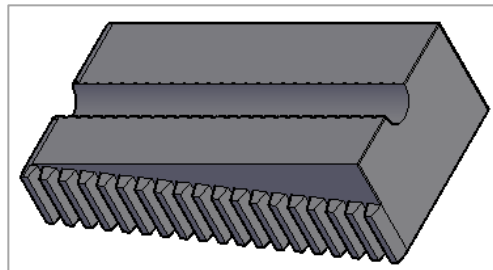


Figura 6-3: Mordaza de cuña con garganta cilíndrica

Realizado por: Meneses Alexis, Vásconez Fernando. 2018

Alternativa 4: Mordazas de cuña con garganta en V y bastidor independiente

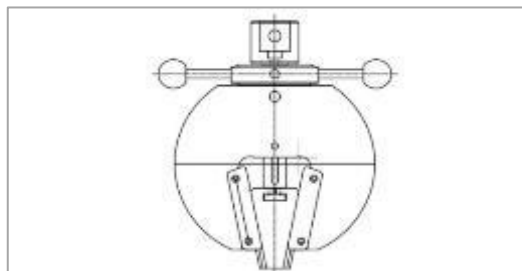


Figura 7-3: Mordaza de cuña garganta V independiente

Realizado por: Meneses Alexis, Vásconez Fernando. 2018

Alternativa 5: Mordazas de cuña con cara plana y bastidor independiente



Figura 8-3: Mordaza de cuña cara plana independiente

Fuente: (TINIUS OLSEN, 2018)

3.2.5 Análisis y evaluación de la mejor alternativa.

Para la evaluación de soluciones/alternativas se utilizará el *método ordinal corregidos de criterios ponderados*, gracias al cual se puede definir de manera objetiva la mejor opción de diseño.

1 – Se dará el valor cuando el criterio de la fila es mejor al del de las columnas.

0.5 – Se usa cuando el criterio de la fila y la columna es igual.

0 – Se usa cuando el criterio de la columna es mejor al del de la fila.

Evaluación del peso específico de cada criterio.

Costo > Múltiples diámetros > Uso simple > Buen agarre = Durabilidad > Bajo peso > Didáctico

Tabla 1-3: Evaluación del peso específico de cada criterio.

	Costo	Múltiple diámetro.	Uso simple	Buen agarre	Durabilidad	Bajo peso	Didáctico	$\Sigma+1$	Ponde (%)
Costo		1	1	1	1	1	1	7	25.00
Múltiples diámetros	0		1	1	1	1	1	6	21.43
Uso simple	0	0		1	1	1	1	5	17.86
Buen agarre	0	0	0		0.5	1	1	3.5	12.50
Durabilidad	0	0	0	0.5		1	1	3.5	12.50
Bajo peso	0	0	0	0	0		1	2	7.14
Didáctico	0	0	0	0	0	0		1	3.57

Realizado por: Meneses Alexis, Vásquez Fernando. 2018

Como se puede observar, lo que más importancia tiene en cuanto a opciones de diseño posibles es el costo que pueda tener como producto final. Además de ello, otro de los factores que tiene alta incidencia es la versatilidad de medidas de tubos que pueda aceptar al momento de realizar ensayos. En cambio, el hecho de que sean didácticas tiende a perder relevancia frente al resto de factores.

Evaluación de las distintas soluciones respecto a cada criterio.

Cada alternativa será mejor dependiendo qué criterio prime, por ello se analizará cada una según los criterios tomados en cuenta en la tabla anterior.

Costo.

$$\text{Alter. 1} > \text{Alter. 3} > \text{Alter. 2} > \text{Alter. 4} = \text{Alter. 5}$$

Tabla 2-3: Evaluación de alternativas respecto al Costo.

Costo	Alter. 1	Alter. 2	Alter. 3	Alter. 4	Alter. 5	$\Sigma+1$	Ponderación (%)
Alter. 1		1	1	1	1	5	33.33
Alter. 2	0		0	1	1	3	20.00
Alter. 3	0	1		1	1	4	26.67
Alter. 4	0	0	0		0.5	1.5	10.00
Alter. 5	0	0	0	0.5		1.5	10.00

Realizado por: Realizado por: Meneses Alexis, Vásconez Fernando. 2018

Múltiples diámetros.

$$\text{Alter. 5} > \text{Alter. 1} = \text{Alter. 4} > \text{Alter. 2} > \text{Alter. 3}$$

Tabla 3-3: Evaluación de alternativas respecto a Múltiples diámetros.

Múltiples diámetros	Alter. 1	Alter. 2	Alter. 3	Alter. 4	Alter. 5	$\Sigma+1$	Ponderación (%)
Alter. 1		1	1	0.5	0	3.5	23.33
Alter. 2	0		1	0	0	2	13.33
Alter. 3	0	0		0	0	1	6.68
Alter. 4	0.5	1	1		0	3.5	23.33
Alter. 5	1	1	1	1		5	33.33

Realizado por: Realizado por: Meneses Alexis, Vásconez Fernando. 2018

Uso simple.

$$\text{Alter. 4} = \text{Alter. 5} > \text{Alter. 1} = \text{Alter. 2} > \text{Alter. 3}$$

Tabla 4-3: Evaluación de alternativas respecto al Uso simple.

Uso simple	Alter. 1	Alter. 2	Alter. 3	Alter. 4	Alter. 5	$\Sigma+1$	Ponderación (%)
Alter. 1		0.5	1	0	0	2.5	16.67
Alter. 2	0.5		1	0	0	2.5	16.67
Alter. 3	0	0		0	0	1	06.66
Alter. 4	1	1	1		0.5	4.5	30.00
Alter. 5	1	1	1	0.5		4.5	30.00

Realizado por: Meneses Alexis, Vásconez Fernando. 2018

Buen agarre.

$$\text{Alter. 1} = \text{Alter. 2} > \text{Alter. 4} > \text{Alter. 3} = \text{Alter. 5}$$

Tabla 5-3: Evaluación de alternativas respecto al Buen agarre.

Buen agarre	Alter. 1	Alter. 2	Alter. 3	Alter. 4	Alter. 5	$\Sigma+1$	Ponderación (%)
Alter. 1		0.5	1	1	1	4.5	30.00
Alter. 2	0.5		1	1	1	4.5	30.00
Alter. 3	0	0		0	0.5	1.5	10.00
Alter. 4	0	0	1		1	3	20.00
Alter. 5	0	0	0.5	0		1.5	10.00

Realizado por: Meneses Alexis, Vásconez Fernando. 2018

Durabilidad.

$$\text{Alter. 1} = \text{Alter. 3} > \text{Alter. 2} = \text{Alter. 4} = \text{Alter. 5}$$

Tabla 6-3: Evaluación de alternativas respecto a la Durabilidad.

Durabilidad	Alter. 1	Alter. 2	Alter. 3	Alter. 4	Alter. 5	$\Sigma+1$	Ponderación (%)
Alter. 1		1	0.5	1	1	4.5	30.00
Alter. 2	0		0	0.5	0.5	2	13.33
Alter. 3	0.5	1		1	1	4.5	30.00
Alter. 4	0	0.5	0		0.5	2	13.33
Alter. 5	0	0.5	0	0.5		2	13.33

Realizado por: Realizado por: Meneses Alexis, Vásconez Fernando. 2018

Bajo peso.

$$\text{Alter. 1} = \text{Alter. 3} > \text{Alter. 2} = \text{Alter. 4} = \text{Alter. 5}$$

Tabla 7-3: Evaluación de alternativas respecto al Bajo peso.

Bajo peso	Alter. 1	Alter. 2	Alter. 3	Alter. 4	Alter. 5	$\Sigma+1$	Ponderación (%)
Alter. 1		1	0.5	1	1	4.5	30.00
Alter. 2	0		0	0.5	0.5	2	13.33
Alter. 3	0.5	1		1	1	4.5	30.00
Alter. 4	0	0.5	0		0.5	2	13.33
Alter. 5	0	0.5	0	0.5		2	13.33

Realizado por: Meneses Alexis, Vásconez Fernando. 2018

Didáctico.

$$\text{Alter. 4} = \text{Alter. 5} > \text{Alter. 1} = \text{Alter. 2} = \text{Alter. 3}$$

Tabla 8-3: Evaluación de alternativas respecto a Didáctico.

Didáctico	Alter. 1	Alter. 2	Alter. 3	Alter. 4	Alter. 5	$\Sigma+1$	Ponderación (%)
Alter. 1		0.5	0.5	0	0	2	13.33
Alter. 2	0.5		0.5	0	0	2	13.33
Alter. 3	0.5	0.5		0	0	2	13.33
Alter. 4	1	1	1		0.5	4.5	30.00
Alter. 5	1	1	1	0.5		4.5	30.00

Realizado por: Meneses Alexis, Vásconez Fernando. 2018

Gracias a la *Tabla 9-3*, la cual nos brinda una clara idea de cuál es la mejor opción, ya que esta recoge el análisis hecho desde la casa de calidad y según cada requerimiento. La alternativa que se escoge, es aquella que tiene mayor prioridad, por lo que para nuestro caso es la alternativa 1, mordazas de accionamiento tipo cuña y con garganta en V, la cual cumple satisfactoriamente con todos parámetros

Tabla 9-3: Resumen para selección de alternativa por prioridad.

Conclusión	Costo	Múltiples diámetros	Uso simple	Buen agarre	Durabilidad	Bajo peso	Didáctico	Σ	Prioridad
Alter. 1	0.083	0.050	0.030	0.0375	0.0375	0.021	0.0048	0.264	1
Alter. 2	0.050	0.028	0.119	0.0375	0.0167	0.009	0.0048	0.159	5
Alter. 3	0.067	0.014	0.012	0.0125	0.0375	0.021	0.0048	0.169	4

Tabla 9-3: (Continuación) Resumen para selección de alternativa por prioridad.

Alter. 4	0.025	0.050	0.054	0.0250	0.0167	0.009	0.0107	0.191	3
Alter. 5	0.025	0.071	0.054	0.0125	0.0167	0.009	0.0107	0.199	2

Realizado por: Meneses Alexis, Vásconez Fernando. 2018

La alternativa seleccionada es un 32.6% mejor que la segunda alternativa mejor ranqueada según el análisis, es decir mejor que la alternativa 5, la cual es una de las mejores por su gran versatilidad de diámetros

3.3 Diseño del accesorio

Como ya se obtuvo la mejor alternativa en el apartado anterior, nos basamos en esa idea para empezar el diseño del accesorio para ensayos a tracción en la máquina universal, como se puede ver, la mejor opción para nuestras mordazas es la opción 1.

Es necesario tener en cuenta ciertas dimensiones del bastidor, que es la misma mesa tanto fija como la móvil, solo que posee un orificio en su centro donde alberga un engranaje que es el encargado junto con la cremallera de las mordazas de darle tanto la posición como la fijación adecuada además del pre ajuste necesario para sostener la probeta hasta que se inicie el ensayo.

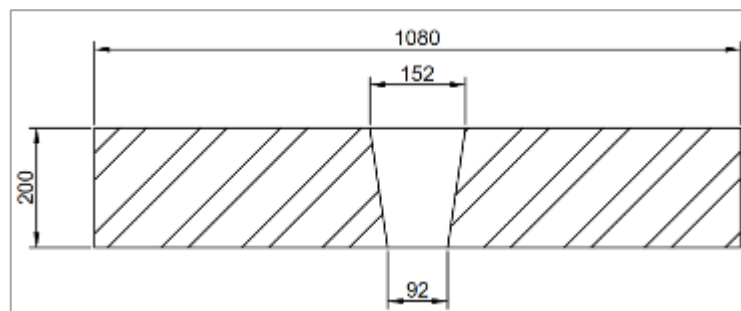


Figura 9-3: Dimensiones del bastidor

Realizado por: Meneses Alexis, Vásconez Fernando. 2019

3.3.1 Análisis de fuerzas externas

Las fuerzas externas son aquellas que actuarán sobre la probeta al momento de hacer el ensayo, estas son: fuerza de tracción, fuerza de agarre lateral, reacciones en el bastidor de la máquina universal y fuerza de rozamiento.

Para esto es necesario calcular en primer lugar la fuerza necesaria para llegar a la ruptura del material de la probeta

El esfuerzo axial para la probeta está dado por

$$\sigma_T = \frac{F_R}{A} \quad (8)$$

Como es una tubería, por lo tanto, sección circular hueca

$$\sigma_T = \frac{4F_R}{\pi * (D_{ext}^2 - d^2)} \quad (9)$$

Se va a hacer el análisis para tubería de acero galvanizado, que según ensayos nos da como resultado la información que está resumida en la siguiente tabla:

Tabla 10-3: Características de una tubería de acero galvanizado

CARACTERÍSTICAS	ACERO GALVANIZADO
Resistencia a la tracción (MPa)	490
Resistencia última a la tracción (MPa)	590
Alargamiento %	22
Dureza HB	140
Diámetro comercial (in)	1/2
Diámetro externo (mm)	21.3
Diámetro interno (mm)	15

Fuente: (I.E.S. ELARGAR, 2013)

Es por esto que la fuerza de tracción última que resiste este material se calcula de la siguiente manera:

$$F_R = \frac{\pi * (D_{ext}^2 - d^2) * \sigma_T}{4} \quad (10)$$

$$F = 105,972 \text{ kN}$$

Esta es la fuerza que logrará el alargamiento, la deformación plástica y la ruptura del material.

Las mordazas tienen que proporcionar una fuerza de agarre suficiente para fijar la probeta hasta su fractura y esta fuerza será equivalente a la fuerza de tracción.

En la siguiente figura se puede observar a detalle un diagrama de cuerpo libre que representa la manera en que actúan las fuerzas en el bastidor de la máquina universal sobre las mordazas al momento de realizar el ensayo. De aquí se parte para realizar el análisis y obtener las dimensiones críticas de la geometría como se detallará a continuación.

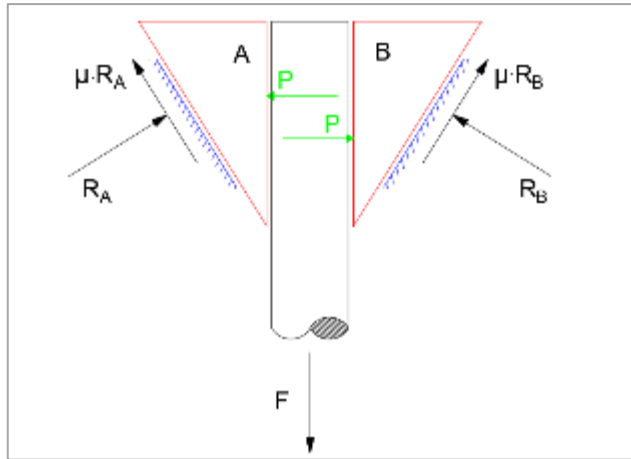


Figura 10-3: Diagrama de cuerpo libre accionamiento de mordazas

Realizado por: Meneses Alexis, Vásconez Fernando. 2018

En la figura se detallan fuerzas que actúan tanto sobre las mordazas como en la probeta, las mismas que se detallan a continuación:

- μR_A , μR_B . Es la fuerza de rozamiento entre bancada y espalda de muela.
- R_A , R_B . Es la fuerza de reacción que se da por el agarre y el arrastre.
- P . Es la fuerza necesaria para asir la probeta hasta su fractura.
- F . Fuerza de tracción última.

Esta denominación de fuerzas se puede aplicar para la siguiente imagen donde se analiza únicamente una de las mordazas.

Con esto se obtendrán las fuerzas de reacción que se dan en las paredes del bastidor que nos ayuda a determinar el espesor de la mordaza.

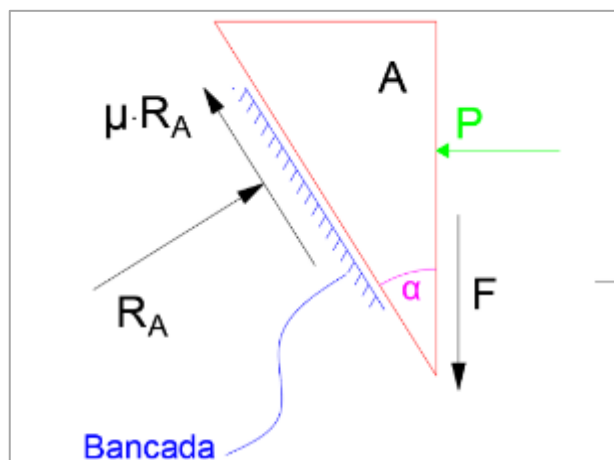


Figura 11-3: Diagrama de cuerpo libre de mordaza

Realizado por: Meneses Alexis, Vásconez Fernando. 2018

Por un análisis estático y considerando las mordazas como un cuerpo rígido, ayudados por el diagrama de cuerpo libre se pueden obtener las reacciones mencionadas, las cuales son:

En el eje Y

$$\sum F_y = 0 \quad (11)$$

Del diagrama de cuerpo libre se deriva:

$$-\frac{F}{2} + R_A * \sin 8 + \mu_{AB} * R_A * \sin 82 = 0 \quad (12)$$

Este análisis se toma únicamente de una de las mordazas que actúan sobre la probeta debido a que si se realiza el estudio de ambas mordazas de forma simultánea no se obtiene resultado debido a que las fuerzas se anulan debido a que tienen el mismo módulo, pero sentido contrario

$$R_A = 157120.51 N$$

En el eje X

$$\sum F_x = 0 \quad (13)$$

Por tanto, del diagrama anterior se obtiene:

$$-P + R_A * \cos 8 - \mu_{AB} * R_A * \cos 82 = 0 \quad (14)$$

$$P = 151215.08N$$

3.3.2 Selección del material

Para realizar una adecuada selección del material que se va a utilizar para la manufactura de las mordazas hay que tener en cuenta ciertas restricciones de diseño.

Para nuestro caso estas restricciones ya se tomaron en cuenta en el apartado de la casa de la calidad

Una herramienta que tenemos al alcance de a mano para guiarnos en la selección del material adecuado son las cartas de selección de Ashby que están resumidas en libros y software.

Para una selección del material donde los parámetros más importantes sea la dureza y el costo del acero, se tienen los siguientes materiales:

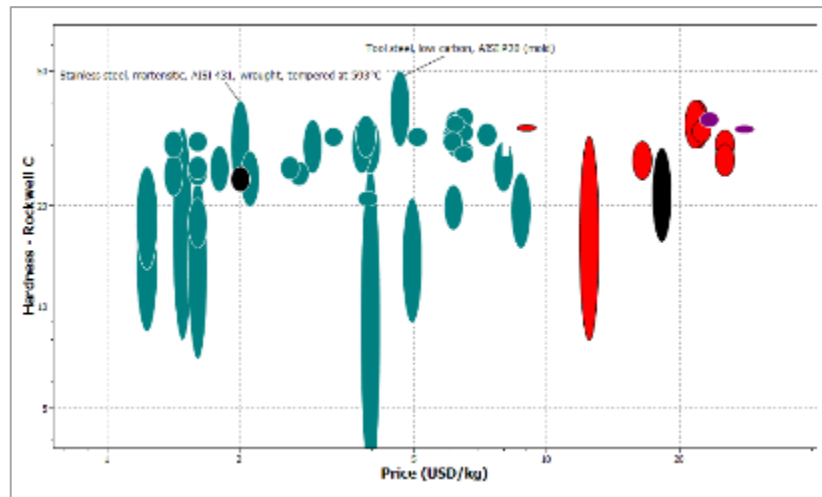


Gráfico 1-3: Precio de material vs Dureza Rockwell C

Fuente: (ASHBY, 2016)

Para el *gráfico 1-3* se tiene las familias de materiales en distintos colores siendo púrpura las aleaciones de titanio, rojo las correspondientes a aleaciones de níquel y turquesa las aleaciones ferrosas con alto contenido de cromo.

Como se observa en el gráfico, el material que presenta una mejor relación dureza-precio es la aleación de acero para herramientas con bajo contenido de carbono, AISI P20

Mientras que si se realiza un análisis de la Tensión de Rotura vs Dureza Rockwell C para escoger el material más adecuado debido a que en las protuberancias que están alojadas a lo largo de la garganta se someten a una alta tensión al momento de realizar el ensayo y estas además deben ser lo suficientemente duras para no deformarse con cada prueba que se realiza, debido a que si ocurre la deformación ya no será posible continuar utilizando las mordazas por su falta de agarre.

Por lo tanto, utilizando las cartas de Ashby (2016), se obtiene el *Gráfico 2-3* donde se encuentran familias de materiales que se ajustan a nuestras necesidades, con sus respectivos códigos de color que representan: turquesa materiales ferrosos con alto contenido de cromo, rojo aleaciones de Níquel, hierro y cromo, negro es Níquel comercial, mientras que las púrpuras son aleaciones de titanio.

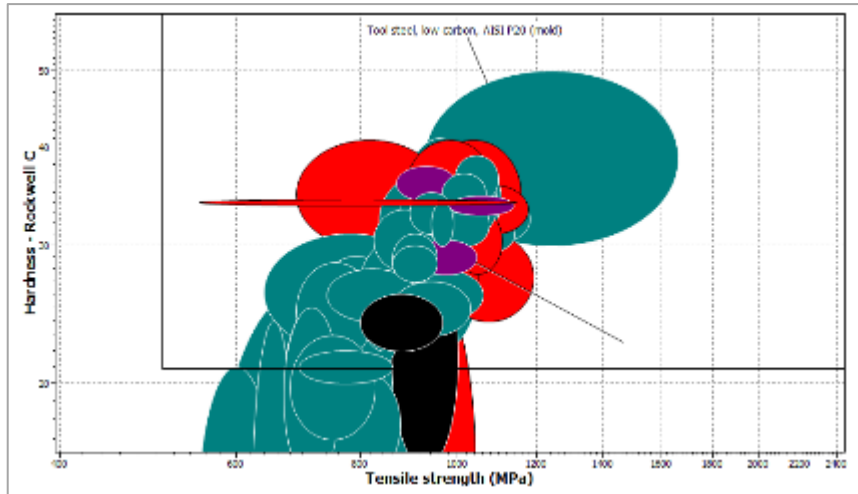


Gráfico 2-3: Tensión de Rotura vs Dureza Rockwell C

Fuente: (ASHBY, 2016)

Es en este gráfico que se observa que la mejor opción, como en la selección anterior es el acero AISI P20 debido a su alta resistencia con una dureza elevada.

Ahora se debe realizar una comparación entre la Fuerza de Compresión y Dureza debido a que las mordazas van a estar sometidas a compresión en cada ensayo ya que por su geometría el material sufre este fenómeno en los dientes de agarre triangulares que están ubicados a lo largo de la garganta, es por este motivo que se busca un material que se comprima de una manera adecuada sin deformarse.

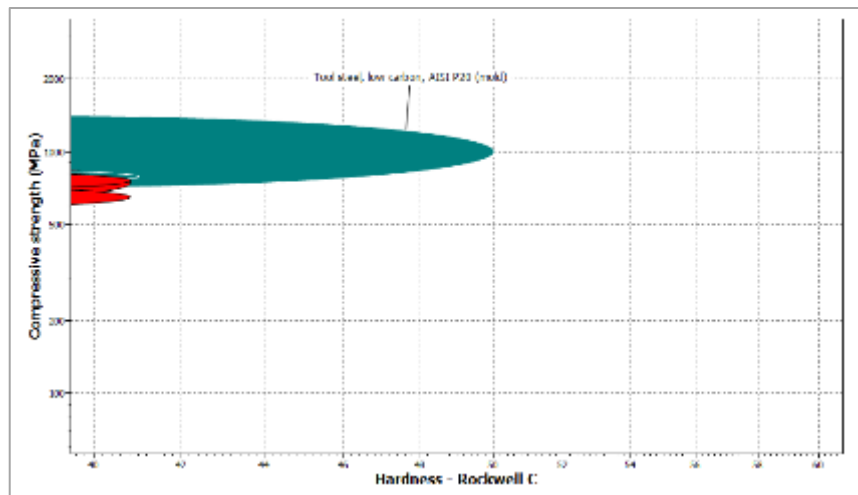


Gráfico 3-3: Tensión de Rotura vs Dureza Rockwell C

Fuente: (ASHBY, 2016)

Como se puede observar en el *Gráfico 3-3*, el material que más se ajusta a nuestras necesidades nuevamente es el acero AISI P20.

En la siguiente tabla se muestran valores de la composición de este acero.

Tabla 11-3: Composición del acero AISI P20

C	0.28-0.40%
Cr	1.40-2.00%
Fe	95.3-97.2%
Mn	0.60-0.10%
Mo	0.30-0.55%
P	0.00-0.03%
S	0.00-0.03%
Si	0.20-0.80%

Fuente: (ASHBY, 2016)

Con esta composición del material se llegan a buenas propiedades mecánicas, además este acero se lo puede usar para herramientas para forja y matrices, herramientas de extrusión en caliente y matrices, etc.

La tabla que se muestra a continuación presenta propiedades mecánicas del material que nos servirán de ayuda para futuras consultas o comparaciones

Tabla 12-3: Propiedades mecánicas acero AISI P20

Módulo de Young (GPa)	204 - 215
Límite elástico (MPa)	716 - 1.42e3
Resistencia a la tracción (MPa)	927 - 1.66e3
Elongación (%)	17.5 - 24.8
Resistencia a la compresión (MPa)	716 - 1.42e3
Módulo de flexión (GPa)	204 - 215
Resistencia a la flexión (MPa)	716 - 1.42e3
Módulo de corte (GPa)	79 - 83
Módulo de volumen (GPa)	162 - 170
Coefficiente de Poisson	0.285 - 0.295
Factor de forma	24
Dureza Rockwell C (HRC)	30 - 50
Resistencia a la fatiga a 10 ⁷ ciclos (MPa)	215 - 425
Modelo de Resistencia a la fatiga (MPa)	145 - 389

Fuente: (ASHBY, 2016)

En conclusión esto refleja que el material más adecuado para realizar la manufactura de las mordazas sería el acero AISI P20, pero se tiene un problema al seleccionar este material debido a que su costo es elevado, es por este motivo que se debe seleccionar con

base en la composición del material y de las propiedades que este tiene un acero que sea similar pero que tenga un costo más económico y que además sea apto para realizar una cementación debido a que con esto se garantiza las propiedades finales de la mordaza. Un material que tiene unas características parecidas al acero AISI P20 y que puede ser adquirido en el país es el acero AISI/SAE 5115, este acero tiene las siguientes propiedades:

Tabla 13-3: Propiedades mecánicas acero AISI/SAE 5115

Límite de fluencia (MPa)	350-800
Elongación (%)	10-11
Dureza (HB)	255
Densidad (kg/m ³)	7700

Fuente: (IVAN BOHMAN C.A., 2018)

Como se puede observar en la *tabla 13-3*, las propiedades que más nos interesan son muy parecidas a las del acero AISI P20 necesarias para cumplir con los objetivos de este trabajo de titulación.

Además de las propiedades mecánicas que son las más importantes para comparar, en la *tabla 14-3* se tiene la composición del acero AISI 5115, con la cual se puede realizar nuevamente la comparación con el acero AISI P20

Tabla 14-3: Composición del acero AISI/SAE 5115

C	0.14-0.19%
Cr	0.80-1.10%
Si	<0.30%
Mn	1.00-1.30%

Fuente: (IVAN BOHMAN C.A., 2018)

Si nos fijamos en el porcentaje de carbono tanto del acero AISI P20 como del AISI 5115, se ve una diferencia considerable pero no es relevante debido a que la dureza que nos proporciona el carbono en el acero se va a conseguir una vez que se realice la carbonitruración.

Con todo lo que se ha mencionado de la comparación entre los materiales se puede concluir que el material AISI/SAE 5115 es la menor opción que se puede conseguir tanto por el valor económico como por la disponibilidad en el país y más importante aún, sus características mecánicas.

3.3.3 Diseño de la geometría de la mordaza

Las áreas que deben ser consideradas están en función del espacio que se dispone en el bastidor (*Figura 9-3*) por lo tanto se realizará el diseño tomando como base las siguientes áreas en la mordaza

Para la pendiente que va en contacto con la bancada:

$$A_P = 13610.5 \text{ mm}^2$$

Área de la superficie de la garganta:

$$A_G = 3256.5 \text{ mm}^2$$

El área de la probeta expuesta a tracción:

$$A_T = 179.61 \text{ mm}^2$$

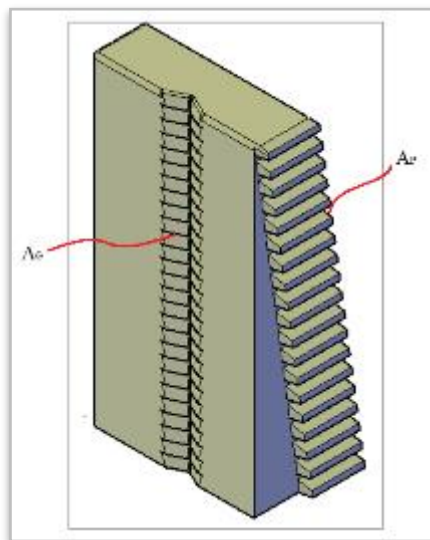


Figura 12-3: Dimensiones del bastidor

Realizado por: Meneses Alexis, Vásconez Fernando. 2019

En la *Figura 12-3* se puede apreciar el lugar al cual corresponden el área A_P , que es el área de la parte trasera de la figura, y el área A_G , que es el área correspondiente a la garganta.

Obtenida la fuerza de tracción necesaria para realizar el ensayo y los valores de las fuerzas resultantes para el agarre de la probeta es indispensable conocer el espesor que debe tener

la mordaza para soportar los esfuerzos provocados sin que se presente falla en el accesorio.

Para esto nos apoyamos en el siguiente análisis:

Análisis estático de mordazas

Se procede a realizar el análisis estático de falla en las mordazas, debido a que los esfuerzos tienen una variación muy pequeña respecto del tiempo, esto se da por las velocidades a las cuales el ensayo es realizado.

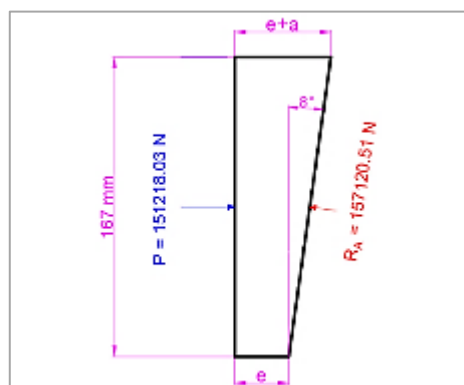


Figura 13-3: Diagrama de cuerpo libre de mordaza

Realizado por: Meneses Alexis, Vásquez Fernando. 2019

Según lo mencionado anteriormente, lo que se busca determinar es el espesor mínimo que la mordaza debe tener, y el lugar donde menor área tendrá es en la zona central de la garganta, el de unión aparente de las dos superficies inclinadas.

Las medidas de altura, ancho, y ángulo de la mordaza están delimitadas por el bastidor que se tiene en la máquina universal. Por ello se tiene el siguiente diagrama de cuerpo libre en el cual se detallan las fuerzas principales a las cuales estará sometida el área de interés:

En la *Figura 13-3* se muestran las medidas conocidas y las medidas por determinar, que en este caso son el espesor e , la componente a , que puede ser fácilmente encontrada por el ángulo que tiene la mordaza para ayudar al efecto de cuña.

La fuerza P , es la fuerza necesaria más grande que deberá soportar la mordaza al realizar el agarre de una probeta de acero galvanizado de 21.3 mm de diámetro externo y 3.15 mm de espesor hasta llegar a su punto de fractura por tracción, es decir, es la mayor fuerza

a la cual estará actuando, ya que es una de las probetas más exigentes a ser ensayadas. Mientras que la fuerza R_A , es la fuerza de reacción que se da de la pared del bastidor de la máquina universal.

Para el cálculo nos centramos más en la fuerza P , ya que esta tiene lugar en un área más reducida que la R_A . Además, hay que tener en cuenta que aparecen dos tipos de esfuerzos, un esfuerzo a compresión, que podría conllevar a una falla por aplastamiento, y un esfuerzo a tracción, producido por el ángulo al cual está dispuesto la garganta.

Cálculo de esfuerzo de aplastamiento:

$$\tau_c = \frac{F}{A} \quad (15)$$

Donde A es el área de acción del aplastamiento, la cual es la suma del área de un rectángulo de dimensiones $167 * e$ y un triángulo rectángulo, para el cual se requiere de un pequeño cálculo:

$$\tan 8^\circ = \frac{a}{167} \quad (16)$$

$$a = 23.47 \text{ mm}$$

Como se dijo anteriormente, el área de acción es la suma de dos áreas:

$$A = 167 * e + \frac{167 * a}{2}$$

$$A = 167(e + 11.735) \text{ mm}^2$$

Reemplazando esto en la ecuación de esfuerzo, se muestra de la siguiente forma:

$$\tau_c = \frac{151218.03 \text{ N}}{167 * (e + 11.735) \text{ mm}^2}$$

$$\tau_c = \frac{905.5}{(e + 11.735)} \text{ MPa}$$

No está demás destacar que el análisis se lo realiza de forma puntual en una zona infinitesimal, para asegurar que se está pensando en el peor escenario, para una mejor visión de lo mencionado se utiliza la *Figura 14-3*:

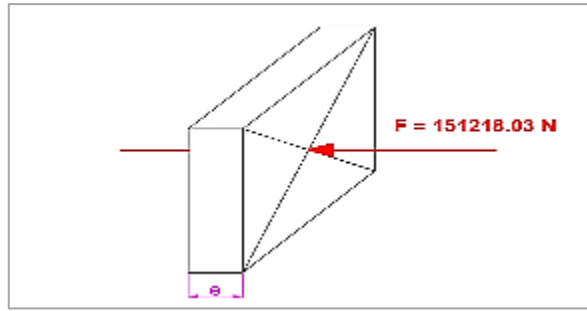


Figura 14-3: Representación del punto de análisis

Realizado por: Meneses Alexis, Vásconez Fernando. 2019

El esfuerzo que da en una expresión en función del espesor.

A continuación, se procede con el análisis a tracción:

Con la ayuda de la *Figura 15-3* se puede observar que efectivamente existirá un esfuerzo a tracción, que afectará a la misma zona antes analizada a aplastamiento, la expresión de esfuerzo utilizada es la siguiente:

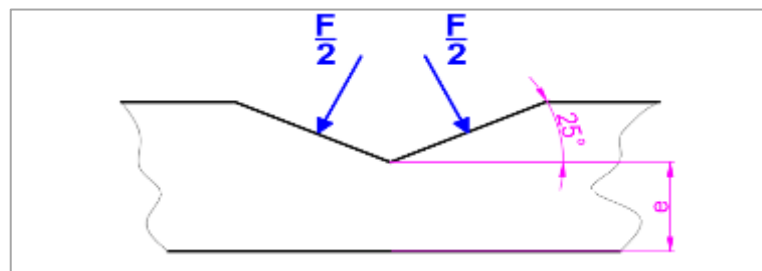


Figura 15-3: Diagrama de fuerzas de tracción en la garganta

Realizado por: Meneses Alexis, Vásconez Fernando. 2019

$$\sigma_T = \frac{F}{A}$$

Para este caso la fuerza F será dada por la expresión:

$$F = 151218.03 \cos 65^\circ \quad (17)$$

Como se mencionó previamente el área es la misma, entonces reemplazando en la ecuación de esfuerzo a tracción se obtiene:

$$\sigma_T = \frac{63907.5 \text{ N}}{167 * (e + 11.735) \text{ mm}^2}$$

$$\sigma_T = \frac{382.68}{(e + 11.735)} \text{ MPa}$$

Al tener los dos tipos de esfuerzos se utilizará el criterio de falla de *Von Mises – Henky*, también conocido como *Teoría del Esfuerzo de Distorsión* (TED), cuya fórmula es:

$$\left(\frac{\sigma}{S_y}\right)^2 + \left(\frac{\tau_s}{S_{y_s}}\right)^2 = \left(\frac{1}{\eta}\right)^2 \quad (18)$$

Donde S_y , es la resistencia a la fluencia del material; S_{y_s} viene dado por la expresión:

$$S_{y_s} = 0.577 * S_y \quad (19)$$

El término η es el factor de seguridad, para el caso se usará un coeficiente de seguridad de 8, debido a que es un equipo de laboratorio que debe garantizar una elevada precisión, además, al ser utilizado en la mayor parte de casos para fines didácticos, se debe evitar a toda costa un fallo catastrófico que pueda poner en peligro la integridad física de estudiantes y del personal técnico, es por ello que se toma un coeficiente tan elevado.

Como se ha mencionado, la idea es analizar el peor escenario posible, por lo cual el S_y utilizado es el menor que se puede encontrar en el acero ASTM 5115, es decir 400 MPa.

Reemplazando los términos de la ecuación de TED, se tiene:

$$\sqrt{\left(\frac{382.68}{400 * (e + 11.735)}\right)^2 + \left(\frac{905.5}{230.8 * (e + 11.735)}\right)^2} = \frac{1}{8}$$

$$\frac{1}{e + 11.735} * 4.04 = 0.125$$

$$e + 11.735 = 32.32$$

$$e = 20.59 \text{ mm}$$

$$e \cong 22 \text{ mm}$$

Entonces se obtiene una medida de espesor de 20.59 mm, pero para los planos de taller se utilizará 22 mm como espesor, en prevención de algún posible incidente que pueda ocurrir en la construcción, especialmente al aplicar el tratamiento térmico que puede ocasionar ciertas discontinuidades que requieren rectificado posterior.

Análisis de falla de dientes de agarre.

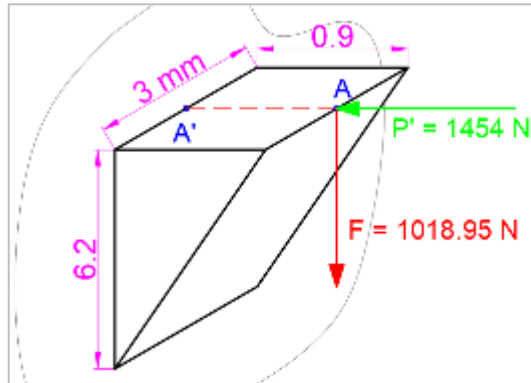


Figura 16-3: Diagrama de cuerpo libre diente de agarre

Realizado por: Meneses Alexis, Vásconez Fernando. 2019

Otra área importante que se debe analizar son los dientes de agarre presentes en la garganta, los cuales estarán en contacto directo con la probeta, y aportan significativamente para el proceso de sujeción. Se utilizará la *Figura 16-3* que representa una porción de uno de estos dientes:

La fuerza F que aparece en la *Figura 16-3*, se encontró mediante el siguiente proceso:

$$F = \frac{\text{Fuerza de arrastre máxima}}{\text{número de dientes en garganta por par de mordazas}} \quad (20)$$

El número de dientes presentes en una de las caras de una mordaza, de acuerdo con las medidas planteadas, es 26.

$$F = \frac{105971.5 \text{ N}}{4 * 26} \quad (21)$$

$$F = 1018.95 \text{ N}$$

El momento resultante es dado por:

$$M = 1018.5 \text{ N} * 0.9 \text{ mm} \quad (22)$$

$$M = 917.06 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

Este momento de $917.06 \text{ N} \cdot \text{mm}$ aplicado en el punto A' , genera tracción.

De igual forma se procede al cálculo del área en la cual estarán actuando la fuerza y el momento:

$$\text{Area} = 3 * 6.2 \text{ mm}^2 \quad (23)$$

$$Area = 18.6 \text{ mm}^2$$

Análisis a corte producido por la fuerza F , que es una fracción de la fuerza de arrastre necesaria para la fractura de la probeta más grande de tubo que se podría ensayar.

La expresión de corte, con los reemplazos correspondientes, es la siguiente:

$$\tau_c = \frac{1018.95 \text{ N}}{18.6 \text{ mm}^2}$$

$$\tau_c = 55.68 \text{ MPa}$$

Análisis a tracción debido al momento presente en el punto A' .

Para este caso la ecuación de esfuerzo siguiente es útil:

$$\sigma_T = \frac{M * c}{I} \quad (24)$$

Donde M es el momento, I es la inercia del área donde va a actuar el momento, y c es la distancia de un extremo de la altura hasta el eje neutro.

$$I = \frac{1}{12} b * h^3 \quad (25)$$

Donde b es 2 mm y h es 6.2 mm , por tanto:

$$I = 39.7213 \text{ mm}^4$$

El valor de c es 3.1 mm , y con los datos anteriores es posible hallar el esfuerzo a tracción:

$$\sigma_T = \frac{917.06 * 3.1}{39.7213}$$

$$\sigma_T = 71.6 \text{ MPa}$$

También existe un esfuerzo debido a la fuerza P' , que es una fracción de la fuerza P , este esfuerzo de compresión es:

$$P' = \frac{151218.03}{4 * 26} = 1454 \text{ N}$$

$$\sigma_c = -78.2 \text{ MPa}$$

El S_y para este caso, es un poco mayor que para el análisis de espesor previamente hecho, debido a que esta sección de la mordaza conservará mayor dureza luego del tratamiento térmico al no requerir de un rectificado posterior, tanto por las complicaciones que ello conllevaría como por la baja probabilidad de deformación que existe en el área. Por ello se utilizará un valor de 490 MPa.

Dicho esto, se puede proceder al análisis de falla con la ayuda de la teoría de Von Mises – Henky, en la expresión reemplazada se tiene:

$$\sqrt{\left(\frac{-6.6}{490}\right)^2 + \left(\frac{55.68}{282.73}\right)^2} = \frac{1}{\eta}$$

$$\eta = 5.3$$

Se obtiene un valor de 5.3, que es un coeficiente de seguridad bastante alto, por tanto, se dan como aceptadas las medidas de diente antes planteadas. Cabe recordar que el cálculo se ha realizado en una sección infinitesimal del diente de agarre el cual tiene como base real de $6.2 * 11 \text{ mm}^2$, mientras que la sección tomada tiene $6.2 * 3 \text{ mm}^2$.

Análisis de falla en la cremallera.

Las medidas de la cremallera, presentes en uno de los lados de la muela, ya están dadas por la geometría de ésta última, y primordialmente, por los datos proporcionados por el piñón existente en las bancadas de la máquina universal.

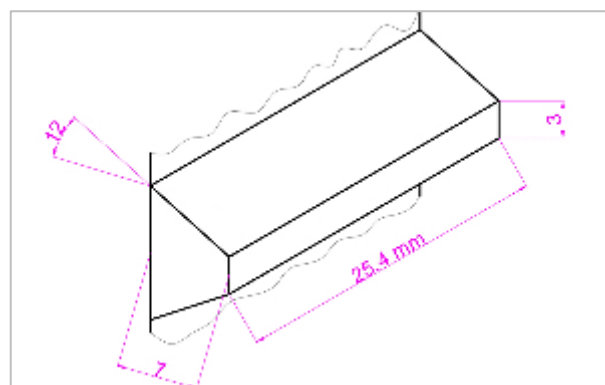


Figura 17-3: Medidas de diente en la cremallera

Realizado por: Meneses Alexis, Vásquez Fernando. 2019

Si bien la cremallera se usa como un sistema de posicionamiento, y para dar una pequeña precarga, se analizará el coeficiente de seguridad que ésta pueda tener, al ser un componente más de la muela.

En la *Figura 17-3*, se observan las medidas reales que deben ser mecanizadas para que encajen correctamente con el engranaje mencionado que se ubica en los bastidores de la máquina universal. Como datos adicionales tenemos los siguientes:

- Face: 1 in.
- Fuerza en la llave: 50 Kg.
- Paso: 0.354 in
- Paso diametral: 2.86/in.

Se analizará el esfuerzo a flexión al cual estará trabajando, tomando en consideración que la cremallera actúa como un engrane recto de diámetro infinito. La fórmula de flexión que se usará es la Lewis modificada, usada en la norma AGMA 2001-D04.

$$\sigma = K_v \cdot K_o \cdot K_s \cdot K_m \cdot K_B \frac{P_d \cdot W_t}{Face \cdot J} \quad (26)$$

Donde:

- | | |
|--|--------------------------------|
| • K_v : Factor dinámico. | • K_B : Factor de aro. |
| • K_o : Factor de sobrecarga. | • P_d : Paso diametral. |
| • K_s : Factor de tamaño. | • W_t : Fuerza tangencial. |
| • K_m : Factor de distribución de carga. | • <i>Face</i> : Ancho de cara. |
| | • J : Factor geométrico. |

Todas las unidades deben estar en sistema inglés. Para hallar W_t , se utiliza la fuerza en la llave, que será la fuerza que se predice es la máxima aplicada por un humano promedio.

$$W_t = 50 \cdot 2.205 \cdot \cos 12$$

$$W_t = 107.84 \text{ lb}$$

Los factores K 's, y J , se encuentran según la norma AGMA, y reemplazados en la fórmula de esfuerzo, se obtiene:

$$\sigma = 1 * 1.75 * 1.1 * 1.28 * 1 \frac{107.84 * 2.89}{1 * 0.285}$$

$$\sigma = 2694.5 \text{ psi}$$

Una vez que se obtiene el esfuerzo, se debe obtener el factor de seguridad S_F , utilizando la siguiente ecuación:

$$S_F = \frac{S_t \cdot Y_N / (K_T \cdot K_R)}{\sigma} \quad (27)$$

Donde:

- S_F : Factor de seguridad.
- S_t : Esfuerzo admisible a flexión. 55000 psi.
- K_T : Factor de temperatura. 1.
- K_R : Factor de confiabilidad. 1.5 para fiabilidad de 99.99%.
- Y_N : Factor de ciclos de esfuerzo. 3.4.

Al reemplazar en la ecuación:

$$S_F = \frac{55000 * 3.4}{2694.5}$$

$$S_F = 69$$

El factor de seguridad es de 69, es algo más que aceptable, y se explica por la poca carga a la que está sometida la cremallera, además de los ciclos de esfuerzos ser mínimos.

3.3.4 *Diseño del tratamiento térmico superficial*

El porcentaje de carbono del acero que se va a utilizar es de 0.16%C que se representa con C_0 , C_S representa el porcentaje de carbono que está en la atmósfera controlada donde se introducirán las piezas a cementar, C_x nos da el valor al que queremos dejar el porcentaje de carbono para asegurar la dureza que se requiere, x representa la profundidad de penetración del carbono, T es la temperatura fija a la que se realiza la carbonitruración dentro del horno.

Nuestro acero tiene propiedades magnéticas, por lo tanto se considera que tiene una estructura cúbica centrada en el cuerpo, según Askeland lo definen como CC, mientras que es mismo puede ser definido también como BCC, esto es de gran ayuda ya que con este conocimiento es posible definir el rango de temperatura (T) al que se puede realizar la carbonitruración, la energía de activación (Q) necesaria para el tratamiento, el coeficiente de difusión (D_0), etc.

Para la temperatura del horno es indispensable saber entre que rangos se puede realizar el tratamiento, para esto nos ayudamos de la siguiente figura, que nos muestra los valores que pueden ser utilizados.

Según el *gráfico 4-3* los valores que se pueden tomar para realizar el tratamiento están en el rango entre 500°C a 950°C, es necesario conocer que una temperatura elevada dentro del horno nos ayudará a que el tratamiento sea más rápido, por lo tanto se podrá ahorrar tiempo lo cual es beneficioso cuando se tiene grandes lotes para una producción en serie.

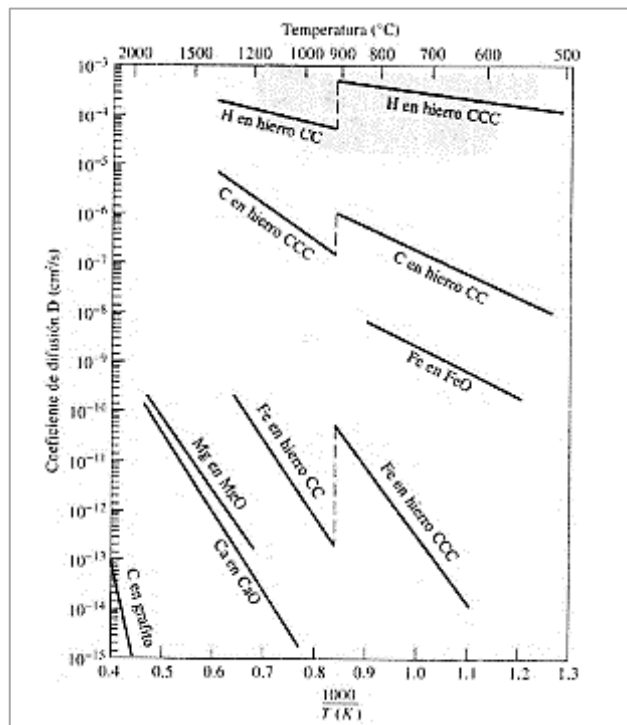


Gráfico 4-3: Dependencia de D con la temperatura para varios metales

Fuente: (ASKELAND, y otros, 2017)

Mientras que para las propiedades por ejemplo de la energía de activación (Q), y el coeficiente de difusión (D_0), la obtenemos de tablas del libro de Askeland (2017), para mayor comodidad al momento de realizar el cálculo se va a resumir los valores que se utilizarán en la siguiente tabla

Tabla 15-3: Datos para cementación

C_0	0.16%
C_S	1.00%
C_X	0.45%
x	2.5 mm
T	850 °C

Tabla 15-3: (Continuación) Datos para cementación

D_0	$0.011\text{cm}^2/\text{s}$
Q	20900 cal/mol
R	$1.987\text{ cal/mol} * K$

Realizado por: Meneses Alexis, Vásquez Fernando. 2018

Al realizar una caracterización metalográfica del acero AISI 5115 en el Laboratorio de Metalografía de la ESPOCH pudimos obtener la siguiente fotomicrografía de la microestructura de este acero que se puede apreciar en la *Figura 18-3* que es del acero atacado por nital al 2% y con un acercamiento a 100X. La micrografía nos muestra vainita y ferrita en depósitos de martensita que se observa de manera más oscura, las áreas claras en la micrografía pertenecen a ferrita.

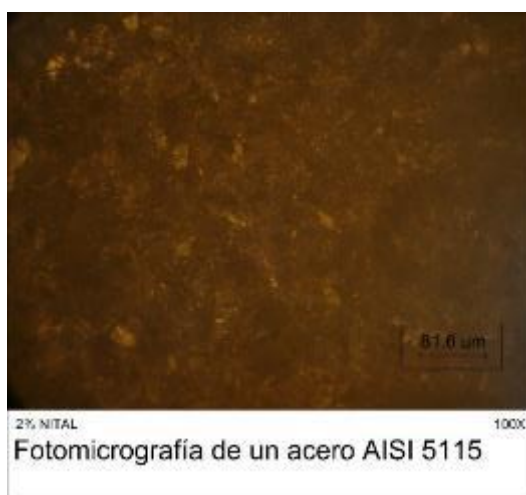


Figura 18-3: Acero AISI 5115

Realizado por: Meneses Alexis, Vásquez Fernando. 2018

Esta microestructura sufrirá variación una vez se realice el tratamiento de carbonitruración por obvias razones para conseguir que la superficie del material aumente su dureza y por ende la resistencia al desgaste beneficiando de esta manera el tiempo de vida útil de nuestro accesorio para ensayos a tracción.

Para realizar cálculo del tiempo necesario para obtener la profundidad adecuada se debe proceder de la siguiente manera con el cálculo.

Por la segunda ley de Fick

$$\frac{c_s - c_x}{c_s - c_0} = \operatorname{erf}\left(\frac{x}{2\sqrt{Dt}}\right) \quad (5)$$

$$0.6547619 = \operatorname{erf}\left(\frac{0.125}{\sqrt{Dt}}\right)$$

Se encuentra el valor de $\frac{0.125}{\sqrt{Dt}}$

$$\frac{0.125}{\sqrt{Dt}} = 0.6688253$$

$$Dt = 0.034929 \text{ cm}^2$$

Por lo tanto, se tiene:

$$t = \frac{0.034929 \text{ cm}^2}{D \text{ cm}^2/\text{s}} \quad (28)$$

Pero ahora se tiene como incógnita el coeficiente de difusión corregido, el mismo se puede calcular con la ayuda de la *ecuación 4*

$$D = D_0 \exp\left(-\frac{Q}{RT}\right) \quad (4)$$

$$D = 9.4114 \times 10^{-7} \text{ cm}^2/\text{s}$$

Con todos los datos obtenidos y gracias a la ecuación 28 conseguimos el tiempo necesario para que se complete el proceso de carbonitruración

$$t = 37114,1872 \text{ s}$$

Que en horas se traduce a:

$$t = 10.3 \text{ h}$$

Por lo tanto, se puede concluir que el tratamiento es relativamente lento hasta que la penetración del carbono llegue a ser la requerida en la pieza.

Una vez terminada la carbonitruración es necesario enfriar la pieza por cualquier método, esto quiere decir que es posible realizar un temple ya sea el agua, aceite, sales, etc. pero para nuestro requerimiento y con los medios que se tiene en el taller donde se realizó la manufactura y el tratamiento térmico superficial, se realizó este enfriamiento o temple en aceite hasta llegar a la temperatura ambiente.

Al realizar la caracterización del acero una vez ya estén carbonitruradas las mordazas se obtuvo una microestructura, la misma que se puede apreciar en la *Figura 19-3*

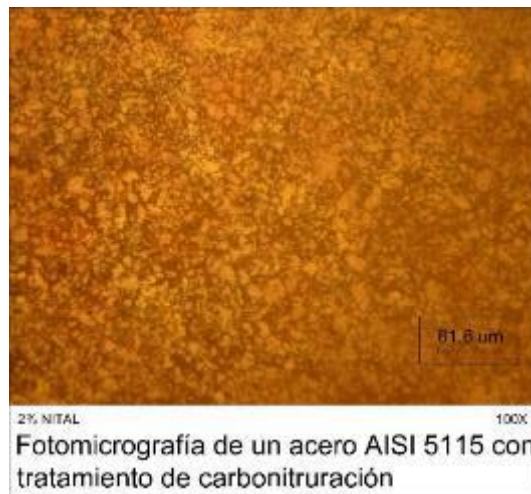


Figura 19-3: Acero AISI 5115 carbonitrurado

Realizado por: Meneses Alexis, Vásconez Fernando. 2019

Las durezas que se tienen del material según catálogo, en estado comercial, en estado de normalizado para ayudar al mecanizado, y de dureza final luego del proceso de carbonitrurado, se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 16-3: Comparación de durezas del acero AISI 5115

Según catálogo (HRC)	Comercial (HRC)	Normalizado (HRC)	Carbonitrurado (HRC)
25	45	40	55

Realizado por: Meneses Alexis, Vásconez Fernando. 2019

3.3.5 Simulación

Si bien ya se realizó el cálculo de los sectores críticos para hallar datos necesarios para tener la forma final deseada, es siempre aconsejable tener una “segunda opinión”, para este caso, se acudirá a la ayuda de un programa de análisis de elementos finitos.

Se procede inicialmente con el análisis estático del efecto que las fuerzas de agarre de la probeta y de arrastre hasta el punto de rotura, tendrán sobre las muelas y los dientes de agarre.

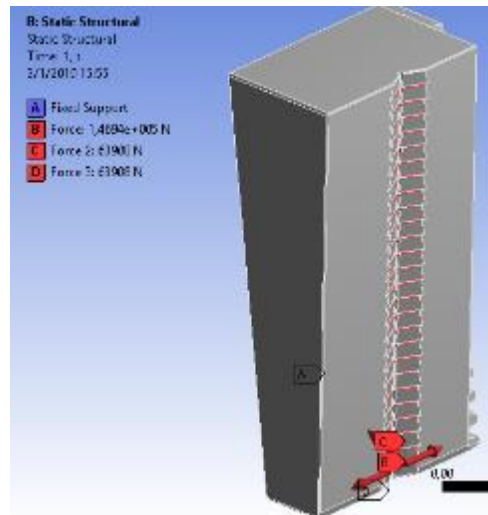


Figura 20-3: Fuerzas actuantes sobre la muela

Realizado por: Meneses Alexis, Vásconez Fernando. 2019

Es necesario asignar las características correspondientes del material, en este caso un acero ASTM 5115, esto es necesario debido a que sin realizarlo no habrá una buena simulación en el programa, lo que ocasionará que los resultados no sean los adecuados, por lo tanto no sean fiables. Además es necesario ubicar las fuerzas correspondientes (*Figura 20-3*) para que de igual manera la simulación sea lo más apegada a la realidad. Para el análisis es indispensable realizar un mallado, teniendo el cuidado en este último ítem de tener una calidad superior a 0.8, obteniéndose una malla como muestra la *Figura 21-3*.

Estas fuerzas actúan en cada diente de agarre, con la magnitud correspondiente que se desprende del análisis previamente realizado.

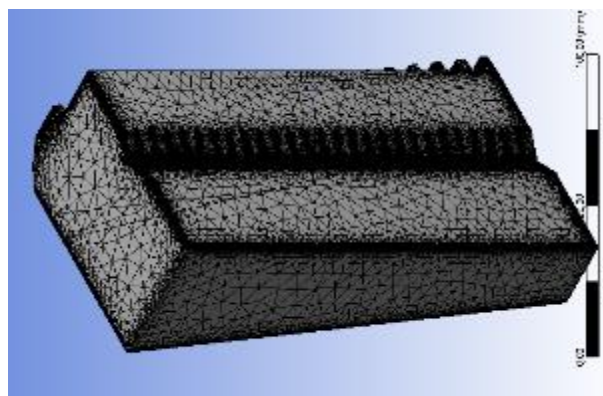


Figura 21-3: Mallado de la muela

Realizado por: Meneses Alexis, Vásconez Fernando. 2019

Se realiza un análisis de deformación, para verificar que no sea excesiva la deformación que podrían presentar los dientes de agarre de la garganta, así como el cuerpo de la mordaza. Estas deformaciones se muestran en la figura siguiente:

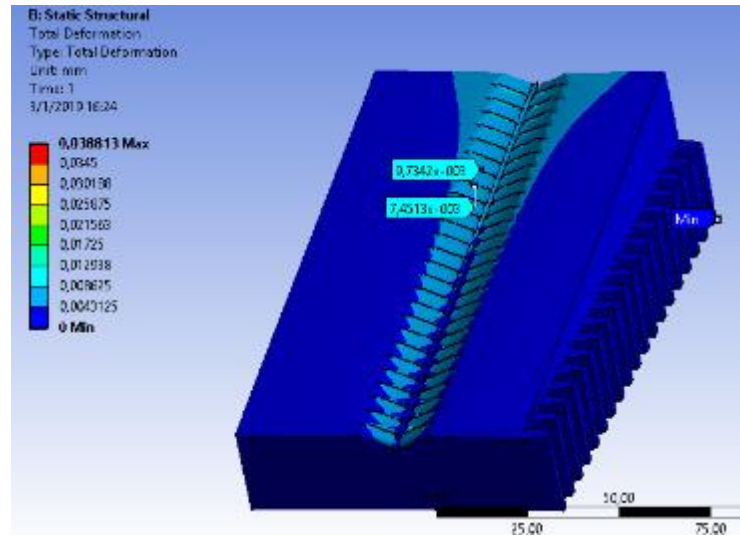


Figura 22-3: Deformación en las muelas

Realizado por: Meneses Alexis, Vásconez Fernando. 2019

Efectivamente, como se puede observar, la deformación presente en la zona más crítica es mínima, en rangos de 0.009 mm a virtualmente 0 mm . En las crestas de los dientes, se encontró deformaciones de 0.0097 mm . Si bien esto no es algo concluyente, es un gran indicativo de que el análisis manual es correcto, y para más datos de contraste, se utilizará otro análisis.

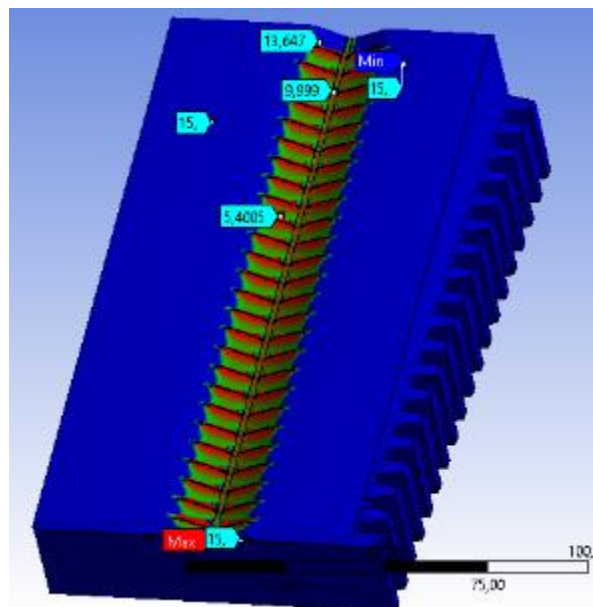


Figura 23-3: Factor de seguridad en las muelas

Realizado por: Meneses Alexis, Vásconez Fernando. 2019

Como se puede observar en el análisis de factor de seguridad varia de un 15 a 5.4 en las crestas de los dientes de agarre, este último dato que difiere del calculado, pero esto se debe a que se usaron propiedades del material en estado bruto, sin el tratamiento superficial de endurecido, por lo cual se dan por aceptados los cálculos previamente realizados.

3.3.6 *Diseño del tapón*

Para el diseño del tapón se siguen las recomendaciones dadas por la ASTM E8, la cual dictamina que se requiere un tapón metálico que cubra un poco más que el área de acción de agarre de las mordazas, usualmente estos tapones son usados como precaución a un posible aplastamiento del tubo por agarre.

Al ser los tapones usados como un elemento de soporte secundario, se pueden utilizar haceros de bajo carbono y/o de muy bajo costo, como por ejemplo un acero de transmisión AISI 1018, o por la facilidad de adquisición, un acero de varilla de construcción lisa, que usualmente es un ASTM A-36. Este último puede producir ciertos problemas en la construcción debido al contenido de carbono relativamente alto.

Dicho esto se procede a dar las medidas sugeridas por la norma establecida para la probeta de acero galvanizado para conducción de agua de 1/2 in.

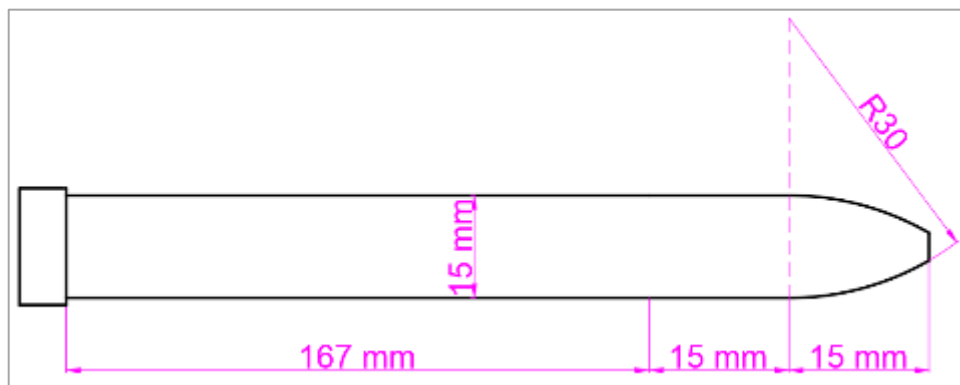


Figura 24-3: Diagrama de tapón con medidas reales.

Realizado por: Meneses Alexis, Vásquez Fernando. 2019

Simulación

Otra verificación que se realizó fue en el tapón, para revisar si éste puede ser reutilizado en otros ensayos o si presentará deformaciones tales que llevarían a ser contraproducente seguir usándolos para otras probetas. Según lo que se puede observar en la *Figura 25-3*,

la deformación es suficientemente pequeña como para considerar reutilizar estos aditamentos.

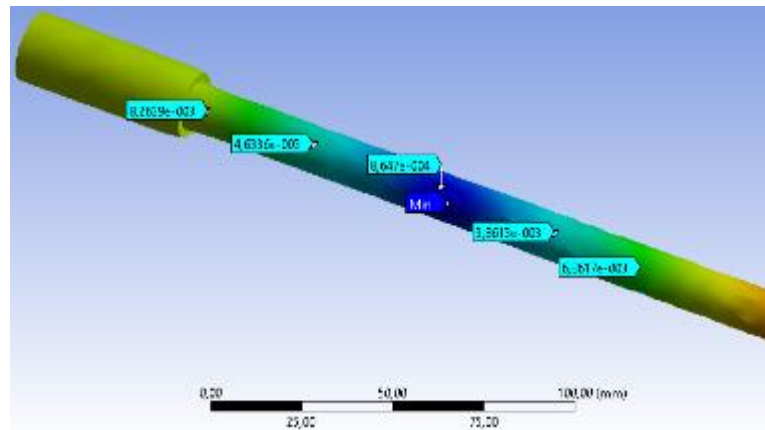


Figura 25-3: Deformación en el tapón

Realizado por: Meneses Alexis, Vásconez Fernando. 2019

3.4 Construcción del accesorio

Para poder llevar la idea desde el papel hasta la realidad y más importante aún, cumplir con uno de los objetivos planteados en este trabajo de titulación es necesario construir el accesorio para la máquina universal. Es así que en este apartado se va a detallar el proceso que se siguió para llegar a este fin, partiendo desde la compra del material en bruto, pasando por el mecanizado y el tratamiento térmico superficial, hasta un rectificado final para que las mordazas encajen adecuadamente en el bastidor al momento de realizar el montaje y no haya atascamiento durante el ensayo ni mucho menos cuando se desmonten las mismas una vez haya acabado las pruebas a tracción.

3.4.1 *Compra del material en bruto*

Se pudo adquirir únicamente un eje de acero AISI 5115 con un diámetro $\varnothing = 6 \text{ in}$ y una longitud de 800 mm, debido a que no se pudo conseguir en el mercado acero en forma de tocho o lingote de este acero para que sea más eficiente la fabricación de las mordazas

Este eje sirve para obtener cuatro secciones de menor longitud y a partir de ellos se empieza con el mecanizado de la geometría básica de nuestra mordaza.

3.4.2 *Corte del eje.*

El corte se lo realiza con la ayuda de una cierra de cinta mecánica



Figura 26-3: Corte de eje de Acero 5115

Realizado por: Meneses Alexis, Vásconez Fernando, 2018

Es necesario proporcionar un refrigerante para evitar daños a la cinta y que haya mayor facilidad al realizar el corte, este refrigerante será únicamente agua para esta operación.

3.4.3 *Mecanizado*

Inicialmente se le da la geometría aproximada a las mordazas, esto quiere decir que a partir del eje se realiza un fresado por etapas hasta darle al material forma de prisma rectangular, para este fin es necesario asegurar el eje en la mesa de la fresadora como se puede observar en la siguiente figura.



Figura 27-3: Montaje en la fresadora

Realizado por: Meneses Alexis, Vásconez Fernando, 2018

Es así que se puede empezar con el fresado hasta darle unas dimensiones aproximadas a las que estamos buscando para el producto final



Figura 28-3: Fresado de eje de Acero

Realizado por: Meneses Alexis, Vásconez Fernando, 2018

Se tiene como primer resultado la geometría básica de las mordazas (*Figura 29-3*) que se busca para que sea más simple continuar con el trabajo de mecanizado.



Figura 29-3: Prismas después del fresado

Realizado por: Meneses Alexis, Vásconez Fernando, 2018

Además, ya con esta geometría se puede generar mediante un fresado nuevamente, la geometría básica para la cremallera que lleva la mordaza que sirve para darle ubicación precisa y el pre-ajuste necesario.

Se debe tener cuidado con este procedimiento ya que es necesario generar la geometría de la cremallera (*Figura 30-3*) con el ángulo que se muestra en los planos para que no exista interferencia al momento de insertar la mordaza en el bastidor y realizar el pre-ajuste.



Figura 30-3: Geometría básica para la cremallera

Realizado por: Meneses Alexis, Vásconez Fernando, 2018

El módulo y número de dientes de la cremallera van en función al engranaje que tiene incorporado la máquina universal por lo tanto no hay demasiadas complicaciones al momento de su manufactura, con la ayuda de una mandrinadora que genera dientes gracias a una fresa para diámetro pitch se realiza este proceso de mecanizado



Figura 31-3: Mandrinadora (izquierda), Fresa para generar dientes (derecha)

Realizado por: Meneses Alexis, Vásconez Fernando, 2018

De esta manera se consigue la cremallera en cada una de las mordazas, es indispensable mencionar que en el proceso de manufactura es lento debido al número de pasadas que se necesita hacer en el material debido a su dureza



Figura 32-3: Cremallera de mordazas

Realizado por: Meneses Alexis, Vásconez Fernando, 2018

Ya que se tiene la geometría adecuada para las mordazas, además de la cremallera, el siguiente proceso es darle la inclinación adecuada de uno de los lados para que se cumpla la condición de: mordazas de cuña. Esta inclinación ayuda a asegurar la probeta mientras se desarrolla el ensayo, de esta manera se garantiza un agarre adecuado durante todo el proceso.



Figura 33-3: Fresado de la geometría piramidal para cuña

Realizado por: Meneses Alexis, Vásconez Fernando, 2018

La última parte del mecanizado para tener mordazas funcionales corresponde al mecanizado de la garganta en V con la ayuda nuevamente de la fresadora, además esta garganta posee un relieve de formas triangulares, esto se logra con la ayuda de un mortajador y se asegura gracias a una mordaza o entenalla adecuada para darle el ángulo necesario como se puede observar en la figura.



Figura 34-3: Martajado de dientes en la garganta

Realizado por: Meneses Alexis, Vásconez Fernando, 2018

Realizados estos procesos de manufactura se obtienen las mordazas con las dimensiones que se planteó en el diseño para soportar los esfuerzos tanto de tracción, compresión y cizalladura en la garganta como además de compresión a lo largo del cuerpo de las mismas, esto garantiza que no vaya a sufrir deformación ni mucho menos fallo por fractura al momento de realizar los ensayos en los distintos diámetros y materiales para los cuales están pensadas.

Las mordazas al final del mecanizado lucen como se muestra en la *Figura 35-3*, es desde este punto de donde se empieza el tratamiento térmico superficial.



Figura 35-3: Mordazas en cuña sin tratamiento

Realizado por: Meneses Alexis, Vásconez Fernando, 2018

3.4.4 *Carbonitruración*

Este procedimiento está descrito en el apartado de diseño, donde se detallan los tiempos y temperaturas adecuados para realizar con éxito la carbonitruración.



Figura 36-3: Horno para cementación

Realizado por: Meneses Alexis, Vásconez Fernando, 2018

Una vez realizado el tratamiento térmico se puede ver un cambio de color en la superficie de la mordaza, es decir que se aprecia un color más oscuro debido a la adición de carbono que endurece la capa superficial.



Figura 37-3: Mordaza carbonitrurada

Realizado por: Meneses Alexis, Vásconez Fernando, 2018

3.5 Construcción del tapón.

Al tener como probetas para los ensayos tuberías, es indispensable la construcción de tapones que se mencionan en los apartados anteriores.

Cada tapón se mecaniza desde una varilla de acero de construcción lisa de un diámetro algo menor al diámetro interno del tubo que servirá como probeta. El proceso que se utilizará es el de torneado simple a alta velocidad debido a que el material es un acero relativamente suave. La varilla, que previamente fue cortada de una longitud de 25 cm, para tener las medidas exigidas por la norma ASTM E8 y tener 5 cm para la sujeción en el mandril del torno.



Figura 38-3: Torneado de tapones.

Realizado por: Meneses Alexis, Vásquez Fernando, 2018

Lo que nos da un tapón adecuado para proteger a la probeta en caso de que exista deformación por aplastamiento en los extremos fijos con las siguientes dimensiones en milímetros, son mostrados en la *Figura 39-3*:

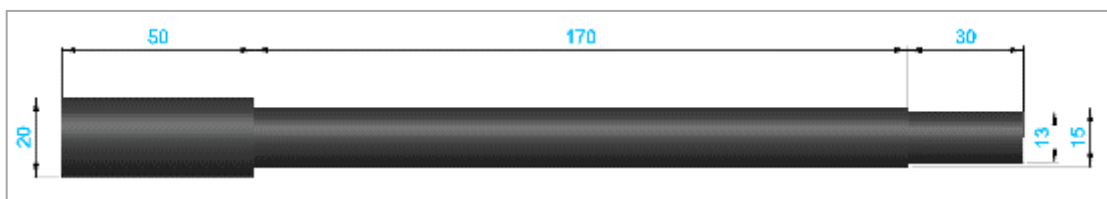


Figura 39-3: Medidas del tapón real

Realizado por: Meneses Alexis, Vásquez Fernando, 2019

3.6 Pruebas y funcionamiento

Para comprobar el buen funcionamiento y la utilidad de las mordazas que han sido diseñadas y construidas, es necesario realizar pruebas mecánicas de funcionamiento, que

consisten en verificar que el agarre de las mismas sea el adecuado para que no exista deslizamiento de la probeta una vez esté fija en la posición adecuada para el ensayo.

Para este fin se realizó dos tipos de pruebas, la primera la hacemos en vacío, es decir sin la utilización de una probeta, en esta prueba se busca verificar que no haya interferencia en el movimiento entre engrane y cremallera, y que las muelas puedan ser montadas y desmontadas con relativa facilidad en el bastidor de la máquina universal.



Figura 40-3: Prueba de mordazas en vacío.

Realizado por: Meneses Alexis, Vásconez Fernando, 2019

En las primeras pruebas se nota que el ancho de la mordaza dificultaba su montaje en el bastidor, esto se debe a que hubo imperfecciones y deformación en ciertas áreas de la mordaza de $+0.3 \text{ mm}$ debido al tratamiento térmico, esto conllevó a un rectificado posterior, con lo cual las mordazas encajan perfectamente en la posición necesaria sobre el bastidor.

Este procedimiento no comprometió el tratamiento térmico superficial debido a que la penetración del carbono que le da mayor dureza superficial es de $x = 2.5 \text{ mm}$.

Lo siguiente fue comprobar que se dé un buen agarre de la probeta, sin dar lugar a deslizamientos hasta llegar al punto de ruptura, para lo cual se utilizaron cuatro probetas de distinto material, diámetro y espesor.

Para todas ellas se usó el mismo procedimiento de montaje y pruebas:

1. Situar mordazas en la parte superior de la máquina universal.
2. Colocar dos pares de platinas para que se dé correctamente el agarre.
3. Ubicar los seguros correspondientes.
4. Se posiciona y asegura la probeta con las mordazas superiores, teniendo cuidado de que el agarre se dé enteramente en el tubo y no en la parte visible del tapón.
5. Se sitúan las mordazas inferiores haciendo un símil del paso 1 al 4.

6. Se realiza un pre ajuste de la probeta, tanto manualmente como con la ayuda de una precarga de la máquina universal.
7. Se realiza el ensayo a tracción elevando la carga paulatinamente hasta llegar al punto de fractura de la probeta.
8. Toda vez que el ensayo haya tenido lugar, se procede a retirar las partes de la probeta.
9. Se retiran las mordazas.
10. Se apaga la máquina universal.



Figura 41-3: Probetas para ensayo

Realizado por: Meneses Alexis, Vásconez Fernando, 2019

Las pruebas se consideraron un éxito, al haber fracturado todas las probetas sometidas a los ensayos, estas son: probetas de cobre, de acero para mueble y acero galvanizado, siendo esta última la más exigente.

No se aprecia deslizamiento en las marcas que deja el ensayo sobre los extremos fijos de las probetas, ni daños posteriores en las mordazas.



Figura 42-3: Muelas post pruebas.

Realizado por: Meneses Alexis, Vásconez Fernando, 2019

Como se puede observar en la *Figura 42-3*, los dientes de agarre de la garganta de las mordazas no sufrieron daño alguno, ni se observó distorsión en su geometría.



Figura 43-3: Probeta fracturada

Realizado por: Meneses Alexis, Vásquez Fernando, 2019

Se puede notar claramente en la *Figura 43-3* que la fractura ocurrió de la forma deseada. Hay que tomar en cuenta las recomendaciones y especificaciones que nos brinda la Norma NTE INEN 143 que nos especifica el método de ensayo a tracción sobre tubería, además de los parámetros para realizar ensayos a tracción sobre materiales metálicos que nos da la norma ASTM E8.

3.7 Análisis de resultados.

Para el caso de todas las pruebas el resultado que se desea es llegar a la fractura de las probetas, en especial de las probetas más exigentes, sin que se produzca deslizamiento, falla por aplastamiento o en el caso más extremo falla catastrófica en la mordaza.

Por lo cual se analizó el desempeño con varias probetas de diferentes materiales, así como las medidas de diámetro y espesor, las cuales presentan distinta resistencia última, todo lo mencionado se puede resumir en la siguiente tabla:

Tabla 17-3: Datos de las probetas a ensayarse.

N°	Fuerza última (Kg)	Diámetro exterior (mm)	Espesor (mm)	Material
Probeta 1	1200	15.9	1.02	Cobre
Probeta 2	1200	15.9	1.02	Cobre
Probeta 3	1220	15	1	Acero para mueblería
Probeta 4	10802	21.3	3.15	Acero galvanizado

Realizado por: Meneses Alexis, Vásquez Fernando, 2019

Como se puede observar, la probeta de acero galvanizado es a la que más atención se le debe prestar, en el sentido de que es la que mayores probabilidades tiene de hacer que fallen las pruebas de las mordazas.

A continuación, se muestran los datos de resistencia última que alcanzaron las distintas probetas, así como el porcentaje de elongación que alcanzaron:

Tabla 18-3: Resultados de los ensayos.

N°	Fuerza última real (Kg)	Porcentaje de elongación (%)	Material
Probeta 1	1680	1.4	Cobre
Probeta 2	1680	1.4	Cobre
Probeta 3	1580	21.8	Acero para mueblería
Probeta 4	5600	8.26	Acero galvanizado

Realizado por: Meneses Alexis, Vásconez Fernando, 2019

Es posible notar que las fuerzas requeridas para llegar a la fractura difieren de las teóricas, usadas para los cálculos, pero esta diferencia es en favor de la resistencia que tendrán las muelas, ya que la probeta más fuerte, la de acero galvanizado, resistió alrededor de un 48% menos de lo esperado. Con ello se garantiza el funcionamiento adecuado tanto de muelas como de tapones.



Figura 44-3: Probetas fracturadas después del ensayo

Realizado por: Meneses Alexis, Vásconez Fernando, 2019

Se puede notar de mejor manera en la *Figura 44-3*, las fracturas realizadas en las distintas probetas, de arriba hacia abajo son de cobre, acero para mueble, y acero galvanizado. En la de cobre la zona de fractura entra en la zona en la cual no hacen efecto de agarre las muelas, así que tienen validez todas las muestras.

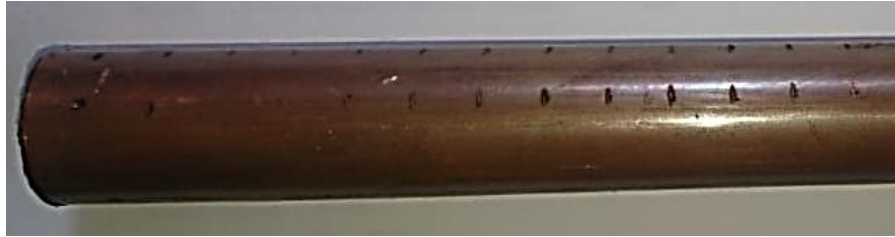


Figura 45-3: Marcas de sujeción en la probeta.

Realizado por: Meneses Alexis, Vásconez Fernando, 2019

Los resultados son satisfactorios al haberse dado la fractura en todos los tipos y espesores de tuberías ensayadas, y no haber presentado ningún desperfecto en las zonas críticas de las muelas como el área de la garganta, al no observarse fracturas en los dientes de agarre, ni en el cuerpo de la muela. Además, no se dio deslizamiento al agarre, ya que sólo existen marcas lineales en donde se posa la mordaza, ello patente en la *Figura 45-3*.

Realizando una comparativa entre las mordazas que se pueden adquirir de la empresa Tinius Olsen y las que han sido construidas por nosotros se tendrá la siguiente tabla comparativa.

Tabla 19-3: Comparativa entre compra y manufactura de mordazas

Características	Tinius Olsen	Titulación
Capacidad máxima (kN)	300	424
Diámetro máximo (in)	1 1/8	1
Diámetro mínimo (in)	7/16	5/16
Longitud de mordaza (mm)	96	167
Peso de mordaza (kg)	1.08	4.5

Realizado por: Meneses Alexis, Vásconez Fernando, 2019

CAPÍTULO IV

4. ESTUDIO DE COSTOS

Este capítulo nos ayuda a describir de manera detallada los costos en los que se incurrió durante el desarrollo de este trabajo de titulación, los valores entre el diseño y la construcción de mordazas para ensayos a tracción en tuberías, es así que en este proyecto existen costos tanto directos como indirectos.

4.1 Costos directos

Son aquellos valores que intervienen directamente en el diseño y construcción de las mordazas como accesorios de la máquina universal, en estos costos se puede considerar el material en bruto, el mecanizado de las mordazas y el tratamiento térmico superficial, esto engloba equipos, máquinas herramienta, mano de obra, transporte

4.1.1 Costo de materiales mecánicos

Para nuestro proyecto se tendrán los siguientes valores del material en bruto para las mordazas, los tapones y las probetas para los ensayos

Tabla 1-4: Costos materiales mecánicos

Cantidad	Descripción		Unidad	Valor unitario (\$)	Valor total (\$)
40	Eje de acero AISI 5115 $\phi = 5$ in		(kg)	12	480
2	Varilla de construcción A36 para tapones		(m)	3.5	7
1	Tubería para probetas	Acero galvanizado	(m)	4	4
1		Acero para mueble	(m)	1.8	1.8
2		Cobre	(m)	5	10
				Subtotal 1	502.8

Realizado por: Meneses Alexis, Vásquez Fernando. 2019

4.1.2 Costo manufactura de máquinas herramienta

Tabla 2-4: Costo manufactura de máquinas herramientas

Horas	Descripción	USD/Hora	Valor total
20	Torno	3.5	70
80	Fresa	4	320
30	Rectificadora	4.5	135

Tabla 2-4: (Continuación) Costo manufactura de máquinas herramientas

48	Mandrinadora	2.5	120
50	Mortajador	2	100
Subtotal 2			745

Realizado por: Meneses Alexis, Vásconez Fernando. 2019

4.1.3 Costo tratamiento térmico

Tabla 3-4: Costo tratamiento térmico

Cantidad	Descripción	Unidad	Precio unitario	Valor total
20	Normalizado	(kg)	6.16	123.20
16.4	Carbonitrurado	(kg)	6.72	110.21
Subtotal 3				233.41

Realizado por: Meneses Alexis, Vásconez Fernando. 2019

4.1.4 Costo de mano de obra

Tabla 4-4: Costo de mano de obra

Cantidad	Descripción	Días-Hombre	USD/día	Valor total
1	Maestro mecánico	30	30	900
Subtotal 4				900

Realizado por: Meneses Alexis, Vásconez Fernando. 2019

El costo total directo que suma todos los ítems anteriores se puede resumir con la siguiente tabla.

Tabla 5-4: Costos directos

Descripción	Costo USD
Subtotal 1	502.80
Subtotal 2	745
Subtotal 3	233.41
Subtotal 4	900
Total costos directos	2381.20

Realizado por: Meneses Alexis, Vásconez Fernando. 2019

4.2 Costos indirectos

Estos valores son aquellos que se presentan de manera indirecta, es decir por cualquier otro tipo de valor que incremente al final el presupuesto que se tenía pensado para el

proyecto. Este tipo de costos están entre el 10% y el 15% del total del proyecto. (RIB Spain SA, 2016 págs. 3 - 5)

Es necesario además considerar en estos costos el trabajo ingenieril que se realizó para que sea posible el diseño de las mordazas

Tabla 6-4: Costos indirectos

Descripción	%	Valor total
Investigación	5	119.10
Diseño	3	71.45
Otros	2	47.60
Total costos indirectos		238.15

Realizado por: Meneses Alexis, Vásconez Fernando. 2019

4.3 Costos totales.

Los costos totales únicamente resumen el total que se ha gastado entre costos directos e indirectos durante el transcurso del diseño y manufactura del proyecto de titulación, además de los costos que incurrieron para la elaboración del documento donde se detalla todo el proceso.

Tabla 7-4: Costos totales

Descripción	Valor
Costos directos	2381.20
Costos Indirectos	238.15
Total costo proyecto	2619.35

Realizado por: Meneses Alexis, Vásconez Fernando. 2019

El costo total de nuestro proyecto de titulación asciende a \$2619.35 que es valor final, donde se han considerado todos los gastos, es decir tanto directos como indirectos que fueron solventados. Pero el valor real de la manufactura de las mordazas es igual a \$2381.20, este valor justifica perfectamente nuestro proyecto debido a que si se desea comprar este accesorio (mordazas para ensayos a tracción para tubería) con similares características el valor asciende hasta \$2400.00 al día 23 de enero de 2017, sin tomar en cuenta gastos de envío y el tiempo transcurrido hasta que este accesorio llegue a su destino. (TINIUS OLSEN, 2018)

Este valor de \$2400.00 hay que añadirle la inflación en un periodo de tiempo de 24 meses, que hacen que el valor actual sea aproximadamente de \$3000.00

Tabla 8-4: Valor de adquisición de mordazas

Descripción	Valor
Valor aproximado en 2019 (\$)	3000
Valor de envío internacional (\$)	2700
Valor de transporte nacional (\$)	32.8
Total costo compra mordazas	5732.8

Realizado por: Meneses Alexis, Vásquez Fernando. 2019

Sabiendo esto, se puede calcular un ahorro de \$3113.45, por lo tanto se considera viable económicamente este proyecto de titulación.

4.4 Depreciación.

La depreciación está definida como la disminución del valor de un bien debido a su uso, disfrute u obsolescencia, es decir que mide el consumo de un bien ya que cualquier artículo empieza a perder valor desde el momento que es adquirido.

Es necesario conocer la depreciación de un bien para poder determinar su costo real o para establecer un fondo de dinero reserva que nos permita reemplazar el artículo al final de su vida útil.

Las causas de dicha depreciación como se mencionó anteriormente son:

- Deterioro físico
- Desgaste funcional
- Daños por uso inadecuado
- Factores económicos

4.4.1 Vida útil

Se define como el tiempo que nuestro artículo estará en condiciones adecuadas para ser utilizado, es decir el tiempo estimado de duración de nuestras mordazas

Al ser un accesorio para la máquina universal y por el uso que se le va a dar de aproximadamente un ensayo por periodo académico, esto en cada una de las escuelas que ocupan el laboratorio de resistencia de materiales, se tendrá:

$$En = e_T * em \quad (29)$$

Donde:

En: número de ensayos por periodo

e_T: Ensayos a tracción en tubería

em: Escuelas la Faculta de mecánica que usan el laboratorio

Por lo tanto, para calcular el número de ensayos que se realizarán en un periodo de tiempo se usa la ecuación 29

$$E = 2 * 3$$

$$E = 6$$

Que se tendrá aproximadamente 6 ensayos por periodo, lo que se traduce en aproximadamente 12 ensayos por año. Esto no representa mayor esfuerzo sobre las mordazas debido a que están definidos tanto en la tesis, como en la guía de laboratorio los materiales que se podrán usar para realizar los ensayos, como las dimensiones máximas y mínimas de las probetas, por lo que se puede garantizar que las mordazas resistirán más de 120 ensayos en su vida, lo que se traduce sin problema en 10 años de vida útil como mínimo de este accesorio para la máquina universal.

4.4.2 Cálculo de la depreciación

Por los datos que se tienen en este trabajo de titulación se tomará el método de porcentaje fijo para realizar el cálculo de la depreciación, en este método se debe considerar que la depreciación es mayor en los primeros años y va disminuyendo para los últimos años La depreciación anual se calcula por la siguiente fórmula (DÍAZ MATA, y otros, 2013 págs. 295-305):

$$D_k = V_{k-1} * d \quad (30)$$

El valor en libros está dada por:

$$V_k = C * (1 - d)^k \quad (31)$$

Para el último año el valor de salvamento debe ser igual al valor en libros

$$S = C * (1 - d)^n = V_n \quad (32)$$

El valor total de las mordazas es de \$2620 además se tiene que las instalaciones, maquinaria, equipos y muebles tienen una depreciación del 10% anual máxima. Su esperanza de vida útil de 10 años. (SRI, 2015)

Se elaborará una tabla para la depreciación que sufren las mordazas en 10 años de vida útil

Tabla 9-4: Depreciación de mordazas en 10 años

Años	Depreciación anual	Depreciación acumulada	Valor en libros
0	0	0	2620,00
1	262,00	262,00	2358,00
2	235,80	497,80	2122,20
3	212,22	710,02	1909,98
4	190,99	901,02	1718,98
5	171,89	1072,92	1547,08
6	154,71	1227,62	1392,38
7	139,24	1366,86	1253,14
8	125,31	1492,18	1127,82
9	112,78	1604,96	1015,04
10	101,50	1706,46	913,54

Realizado por: Meneses Alexis, Vásconez Fernando. 2019

Para el cálculo del valor de salvamento para los 10 años de vida mínimos, se tendrá:

$$S = 2620 * (1 - 0.1)^{10}$$

$$S = 913.54$$

CONCLUSIONES

El diseño y construcción de los accesorios necesarios para el ensayo a tracción para tubos de acero y caños de cobre de 1 in a 5/16 in de diámetro externo, fue un reto, ya que no se logró encontrar literatura clara para el diseño de las muelas que se requieren; sin embargo, se logró desarrollar con éxito un juego de mordazas capaz de ensayar probetas del rango mencionado, sin que sufran daño los accesorios, fracturando los dos tipos de material base y de distintos espesores.

En contraste con la literatura en cuanto al diseño de la mordaza, para el caso del tapón que debe ser usado, para evitar aplastamiento en la probeta, la información es mucho más directa.

Para el diseño conceptual se toma en cuenta el tipo de probetas que se pueden ensayar, cumpliendo con las normas para ensayos en materiales de acero, como la ASTM E8, seleccionando un material que puede ser endurecido para evitar que existan desviaciones, deslizamientos, o fallas al realizar el agarre, lo cual arrojó como resultado el acero bonificado ASTM 5115.

Se genera un modelo 3D con las medidas finales, además de los planos mecánicos, de los accesorios. Esto facilita el análisis computarizado de las zonas críticas de las mordazas, como son la garganta y los dientes de agarre. Las pruebas virtuales son comparadas con el análisis manual, teniendo resultados satisfactorios, lo cual da inicio al proceso de fabricación.

Para la construcción se utilizó un acero ASTM 5115, que es el E410 en Böhrer. Partiendo de un eje macizo de material, y luego de realizadas las operaciones de maquinado necesarias, incluida una rectificación posterior al proceso de endurecimiento superficial por carbonitruración, se logró tener un juego de muelas funcionales para el ensayo a tracción en tubos de acero y cañerías de cobre, con los respectivos tapones para cada probeta.

Para garantizar el manejo adecuado de los accesorios, y cumplir con el propósito instructivo que servirán, se realizó la guía técnica de laboratorio para ensayos a tracción en tubos de acero y cañerías de cobre, en la cual se indican los pasos a seguir para su utilización, obtención de datos/resultados, y su interpretación.

Inicialmente se pensó que debido a las fuerzas de agarre a las cuales sería sometida la probeta, los tapones serían constreñidos de forma tal que no sería posible una posterior utilización al no tener la posibilidad de sacarlos de los especímenes ensayados. Sin embargo, estos no quedaron excesivamente ajustados, dando la posibilidad de retirarlos manualmente, y poder utilizarlos en posteriores pruebas.

El valor final del proyecto justifica el desarrollo del mismo, debido a que si se desea adquirir un juego de mordazas para los rangos de tubería que se desea ensayar su precio asciende al doble del que se invirtió al día de hoy, ya que las dimensiones de probetas a ensayar están fuera de los rangos del catálogo, además se requiere el envío hasta la facultad de mecánica para poder utilizarlas.

Gracias al cálculo que se realizó de la depreciación de las mordazas, en 10 años de uso de las mismas, el valor de salvamento no va a ser tan bajo debido al uso que se le va a dar y la cantidad de ensayos que se realizarán en ese periodo de tiempo, el valor calculado considera que el juego de mordazas pueden ser mecanizados nuevamente bajando sus dimensiones y más que todo, la parte más crítica, en la garganta se modifica el rango de dimensiones que serán posible ensayar.

RECOMENDACIONES

Realizar un análisis del estado físico y de composición química del material en bruto previo a realizar la manufactura, para comprobar que el material tiene las características que se buscan.

Mallar adecuadamente los modelos tridimensionales, para que de este modo se obtengan datos algo más cercanos a la realidad en la simulación, luego de aplicadas las cargas correspondientes.

Verificar propiedades mecánicas antes del mecanizado, en especial la dureza del material, debido a que el material en estado de comercialización posee una elevada dureza, lo cual obliga a un tratamiento térmico de normalizado, con ello se reduce la resistencia a la penetración, vuelve al material algo más mecanizable, y disminuye drásticamente el tiempo y costo de manufactura.

Inspeccionar cuidadosamente las medidas de las mordazas luego de efectuado el tratamiento térmico superficial de carbonitrurado, ya que pueden presentarse pequeñas deformaciones, que requerirán un rectificado posterior.

En cuanto al tapón, que es requerido para ensayos en tubos de sección pequeña, se encontró que este debe entrar con cierto juego, y con un pequeño apriete en las zonas extremas de ella, para que se sostengan en su lugar y no conlleven a fracturas en lugares no deseados (muy cercanos a las mordazas).

Para el uso adecuado y correcto de los equipos se deben leer y comprender los procedimientos a seguir, y utilizar los EPP adecuados. Trabajar con el cuidado debido, siguiendo las instrucciones dadas por el técnico de laboratorio, ya que el peso que estos accesorios tienen es considerable, por lo cual se debe tener extremo cuidado al momento de montaje y desmontaje de las mordazas.

BIBLIOGRAFÍA

ACEROS DE LLODIO. *Aceros de Cementación*. Bilbao : Urmo, 1975, pp. 51 - 60.

ALACERO. *Tubería sin costura*. [En línea] 2018. [Citado el: 10 de 04 de 2018.]. Disponible en: <<https://www.alacero.org/es/page/el-acero/tubos-sin-costura>>.

ANSI/AGMA 2001-D04: Fundamental Rating Factors and Calculation Methods for Involute Spur and Helical Gear Teeth

AREATECNOLOGIA. *Ensayos a tracción*. [En línea] 2017. [Citado el: 05 de Mayo de 2018.]. Disponible en <<http://www.areatecnologia.com/materiales/ensayo-de-traccion.html>>.

ASHBY, Michael. *Materials Selection in Mechanical Design*. Quinta. Oxford : Butterworth Heinemann, 2016, pp. 55 - 94.

ASKELAND, Donald R & WRIGHT, Wendelin J. *Ciencia e ingeniería de materiales*. Séptima. México D.F. : Cengage Learning, 2017, pp. 155 - 178.

ASTM E8: Standard test methods for tension testing of metallic materials. Pensilvania

AVNER, Sidney H. *Introducción a la Metalurgia Física*. Segunda. Mexico : McGraw-Hill Interamericana, 1988, pp. 317 - 354.

BERCK, C. E. *Temple y Cementación: técnica y práctica*. Barcelona : José Montesó, 1950, pp. 76 - 154.

CALLISTER , William D. & RETHWISCH, David G. *Ciencia e ingeniería de los materiales*. Segunda. Barcelona : Reverté, 2016, pp. 374 - 606.

CAMPO, Oscar. *Materiales de ingeniería*. [En línea] 2017. [Citado el: 07 de Mayo de 2018.]. Disponible en: <<https://materialesingenieria.wordpress.com/maquina-universal-para-pruebas-de-resistencia-de-materiales/>>.

DÍAZ MATA, Alfredo & AGUILERA GÓMEZ , Victor M. *Matemáticas financieras*. Quinta. México D.F. : McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. de C.V., 2013. pp. 295 - 305.

SEMPLADES. "Economía al servicio de la sociedad". *Plan nacional de desarrollo 2017-2021* [en línea], 2017, (Ecuador), 1(1), pp. 73 - 74. [Consulta: 10 de Enero de 2019]. Disponible en: < http://www.planificacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/10/PNBV-26-OCT-FINAL_0K.compressed1.pdf>

ECURED. *Tratamiento térmico del metal.* [En línea] 2017. [Citado el: 19 de Junio de 2018.]. Disponible en: <https://www.ecured.cu/Tratamiento_t%C3%A9rmico_del_metal#Tratamientos_termoqu.C3.ADmicos>.

FCA-UNAM. *Matemática financiera.* [En línea] 2016. [Citado el: 14 de Noviembre de 2018.]. Disponible en: <http://ecampus.fca.unam.mx/ebook/imprimibles/informatica/matematicas_financieras/Unidad_5.pdf>.

I.E.S. ELARGAR. *I.E.S. ELARGAR.* [En línea] 2013. [Citado el: 02 de Septiembre de 2018.]. Disponible en: <<http://www.imacifp.com/wp-content/uploads/2013/09/C.F.G.M.-tuber%C3%ADas.pdf>>.

INEN 143: Ensayo de tracción para tubos de acero.

INEN 2470: Tubos de acero al carbono con costura, negros y galvanizados para conducción de fluidos.

INEN 2415: Tubos de acero al carbono soldados para aplicaciones estructurales y usos generales.

INP. *Industria siderúrgica del Ecuador.* [En línea] 2013. [Citado el: 15 de Abril de 2018.]. Disponible en: <<https://es.scribd.com/document/153978904/Industria-siderurgica-Ecuador>>.

INSTRON. *Tubería.* [En línea] 2014. [Citado el: 07 de Mayo de 2018.]. Disponible en: <<https://www.slideshare.net/Instron/pipetube-challengesfinal>>.

IVAN BOHMAN C.A. *IBCA Catálogo aceros.* [En línea] 2018. [Citado el: 10 de Julio de 2018.]. Disponible en: <<https://www.ivanbohman.com.ec/product-detail/7210-16mncr15-aisi-5115/>>.

ISO 274:1975: Copper tubes of circular section -- Dimensions

JNACEROS. *Tubería con costura.* [En línea] 2018. [Citado el: 17 de 04 de 2018.]. Disponible en: <<http://www.jnaceros.com.pe/blog/tubos-acero-inoxidable/tubos-con-costura/>>.

MANGONON, Pat L. *Ciencia de Materiales: Selección y Diseño.* Primera. México : Pearson Educación, 2001. pp. 433 - 456.

NOVACERO. *Certificaciones.* [En línea] 2018. [Citado el: 19 de Abril de 2018.]. Disponible en: <<http://www.novacero.com/la-empresa/certificaciones.html>>.

RIB Spain SA. *RIB running together.* [En línea] 2016. [Citado el: 10 de Enero de 2019.]. Disponible en: <<https://www.rib-software.es/pdf/Notas-tecnicas/Costes-indirectos-gastos-generales-en-Presto.pdf>>.

SANDVIK . *Fórmulas y definiciones en torneado general*. [En línea] 2018. [Citado el: 20 de Junio de 2018.]. Disponible en: <<https://www.sandvik.coromant.com/es-es/knowledge/machining-formulas-definitions/pages/general-turning.aspx>>.

SHACKELFORD, James F. *Introducción a la Ciencia de Materiales para Ingenieros*. Séptima. Madrid : Pearson Education, 2010. pp. 341 - 345.

SMITH, William F & HASHEMI, Javad. *Fundamentos de la ciencia e ingeniería de los materiales*. Quinta. México, D. F. : McGraw-Hill, 2014. pp. 435 - 440.

STEEL, SUNNY. *Tubería de acero sin costura*. [En línea] 2018. [Citado el: 10 de Abril de 2018.]. Disponible en: <<http://www.sunnysteel.com/espanol/Tubos-de-acero-sin-costura.php#.XBNCxmhKjDd>>.

STURLA, Antonio E. *Tratamientos térmicos de los aceros*. Buenos Aires : Nueva librería SRL, 2002. pp. 184 - 414.

TERMISER. *Termiser Plataformas y Andamios*. [En línea] 2017. [Citado el: 20 de Mayo de 2018.]. Disponible en: <<https://www.termiser.com/acero-estructural-que-es-como-se-fabrica/>>.

TINIUS OLSEN. *Tinius Olsen*. [En línea] 2018. [Citado el: 16 de Mayo de 2018.]. Disponible en: <<https://www.tiniusolsen.com/tinius-olsen-testing-machine-company>>.

UTP. *Metalografía Universidad Tecnológica de Pereira*. [En línea] 2013. [Citado el: 25 de Abril de 2018.]. Disponible en: <<http://blog.utp.edu.co/metalografia/5-diagrama-hierro-carbono/#parte2>>.

ZWICKROELL. *ZwickRoell Materials Testing*. [En línea] 2018. [Citado el: 04 de Abril de 2018.]. Disponible en: <<https://www.zwickroell.com/es-es/test-fixtures>>.