

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción**

**“DISEÑO DE UNA MÁQUINA PARA DESBARBADO
CRIOGÉNICO DE PIEZAS DE CAUCHO MOLDEADAS TIPO
AGITADOR”**

TESIS DE GRADO

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERO MECÁNICO

Presentada por:

Gonzalo Alfonso Almeida Pazmiño

GUAYAQUIL - ECUADOR

2006

A G R A D E C I M I E N T O

Mi agradecimiento sincero a Dios, a mis padres Gonzalo y Lucila, a mi hermano Emilio, a mi novia Aracely, a mi tía Susana y a toda mi familia por su incondicional apoyo.

Un especial agradecimiento al Ing. Ernesto Martínez, Director de Tesis, por su invaluable ayuda.

Agradezco también a mis maestros por sus enseñanzas, a mis amigos y compañeros de carrera profesional, porque de ellos he aprendido mucho.

A todos ellos MUCHAS GRACIAS!

DEDICATORIA

A MIS PADRES

A MI HERMANO

A MI NOVIA

A MI FAMILIA

A MIS ABUELOS QUERIDOS:

ALFONSO Y ALAIN

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, me corresponden exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL).

Gonzalo Alfonso Almeida Pazmiño.

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

Ing. Omar Serrano.
DELEGADO ENCARGADO
PRESIDENTE

Ing. Ernesto Martínez L.
DIRECTOR DE TESIS

Ing. Eduardo Orcés P.
VOCAL

RESUMEN

Pensando en la necesidad del desarrollo económico del país que nos ayude a mejorar el estilo de vida, los profesionales estamos en la obligación de contribuir activamente con los conocimientos científicos y tecnológicos adquiridos en la universidad, generando soluciones a los problemas que se presenten en nuestra sociedad.

En el Ecuador existen pequeñas y grandes industrias que se dedican a la producción de piezas de caucho procesadas a través del moldeo. En este proceso se generan rebabas en la pieza manufacturada producto del mismo proceso, ya que es necesario que el aire de la cavidad del molde sea desalojado. Motivo por el cual, las fábricas que se dedican al desarrollo de este producto se ven obligadas a implementar un proceso de desbarbado, que consiste en la eliminación del exceso de material que sobresale en las piezas de caucho moldeadas, para dar un mejor acabado a las mismas.

Existen muchos métodos de desbarbados utilizados, siendo el más común el desbarbado mediante el uso de navajas, cuchillos y tijeras, manipulados por mano obrera, empleando así una cantidad considerable de personal en la aplicación de este método con el aumento de tiempo de proceso, lo que genera grandes costos encareciendo el producto final

Por esta razón, presento este proyecto de tesis, en el cual propongo el diseño de una máquina desbarbadora que utiliza un sistema criogénico, que tiene como objetivo disminuir el empleo de mano obrera y evitar con esto los accidentes provocados por la manipulación de objetos cortopunzantes para realizar el desbarbado.

La metodología empleada en el “**DISEÑO DE UNA MÁQUINA PARA DESBARBADO CRIOGÉNICO DE PIEZAS DE CAUCHO MOLDEADAS TIPO AGITADOR**”, es de tipo investigativo y experimental, fundamentado en los conocimientos adquiridos en la Facultad de Ingeniería Mecánica de ESPOL y en las consultas técnicas a personas relacionadas con el proceso.

Se describe el proceso de moldeo para la producción de piezas de caucho, indicando el procedimiento empleado y resaltando los problemas que se originan por el mal funcionamiento o manipulación de las máquinas o herramientas con las que se elabora el producto.

Se explica en qué consiste el desbarbado criogénico y cuales son los tipos de máquinas que existen actualmente en la industria ecuatoriana y extranjera, realizando una comparación de las ventajas y desventajas de cada tipo.

Se explica cuales son los parámetros necesarios para iniciar un proceso de desbarbado criogénico, entre los cuales está qué configuración especial debe tener la rebaba y el equipo auxiliar necesario.

Se realiza la descripción de la máquina en la cual se explica el funcionamiento de cada una de las partes que la conforman, consiguiendo un diseño de forma de la misma.

Empleando los conocimientos básicos de ingeniería y por medio de análisis, cálculos y ensayos apropiados se diseña los componentes de la máquina indicando los parámetros y seleccionando los dispositivos.

Finalmente, se describe y analiza los costos que se requieren para la construcción de la máquina, así como su instalación y mantenimiento.

Con este estudio se confirma la factibilidad económica de la construcción de la máquina desbarbadora en el país, obteniendo como resultados el aumento en la elaboración de las piezas de caucho con un mejor acabado superficial y la disminución en los costos de producción, demostrando que es un proyecto rentable que se lo puede realizar con recursos humanos y tecnológicos nacionales.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN.....	VI
ÍNDICE GENERAL.....	IX
SIMBOLOGÍA.....	XIII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XVI
ÍNDICE DE TABLAS.....	XVIII
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO 1	
1. PROCESO DE MOLDEO DE PIEZAS DE CAUCHO.....	3
1.1. Obtención del Caucho.....	3
1.2. Preparación del Caucho.....	4
1.3. Proceso de Fabricación de Productos de Caucho por Moldeo..	5
1.3.1. Moldeo por Compresión.....	9
1.3.2. Moldeo por Traslación.....	14
1.3.3. Moldeo por Inyección.....	17
1.4. Necesidad del Proyecto.....	18

CAPÍTULO 2

2. ANÁLISIS DEL PROCESO DE DESBARBADO CRIOGÉNICO DE PIEZAS DE CAUCHO.....	21
2.1. Principio de Desbarbado Criogénico.....	21
2.2. Métodos de Desbarbado Criogénico.....	23
2.2.1. Método de Tumbo Criogénico.....	23
2.2.2. Método de Tiro Destructor.....	26

CAPÍTULO 3

3. PARÁMETROS PARA LA INICIACIÓN DE UN PROCESO DE DESBARBADO CRIOGÉNICO.....	30
3.1. Factores que Afectaran el Proceso Final.....	30
3.2. Configuración de la Rebaba.....	37
3.2.1. Localización de Reborde.....	37
3.2.2. Líneas de Separación.....	38
3.2.3. Configuración Especial de la Rebaba.....	39

CAPÍTULO 4

4. DESCRIPCIÓN DE LA MÁQUINA.....	46
4.1. Introducción.....	46
4.2. Descripción de los Componentes.....	47
4.3. El Nitrógeno Líquido como Refrigerante Criogénico:.....	56

4.3.1. Descripción.....	56
4.3.2. Aplicaciones.....	57
4.3.3. Efectos Fisiológicos.....	60
4.4. Material de Construcción: Acero Inoxidable.....	61

CAPÍTULO 5

5. DISEÑO Y SELECCIÓN DE LOS COMPONENTES DE LA MÁQUINA.....	65
5.1. Diseño del Cuerpo	65
5.2. Diseño del Árbol Inyector.....	86
5.3. Selección de Cojinetes.....	100
5.4. Selección de Acople de Entrada.....	102
5.5. Diseño de Estructura de Soporte.....	104
5.6. Diseño de Cubeta de Recolección.....	115
5.7. Ensamble de las Partes: Soldadura.....	118
5.8. Selección del Motor Eléctrico.....	132
5.9. Selección de los Componentes de Control.....	135

CAPÍTULO 6

6. ANALÍISIS DE COSTOS.....	140
-----------------------------	-----

CAPÍTULO 7

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	145
--	-----

APENDICES

BIBLIOGRAFÍA

SIMBOLOGIA

σ_T	Esfuerzo Tangencial
σ_A	Esfuerzo Axial
η	Factor De Seguridad
Q^*	Transferencia De Calor
ΔT	Diferencia De Temperatura
\overline{Nu}_d	Nusselt Medio
ω	Velocidad Angular
σ_b	Esfuerzo Máximo De Tensión En El Perno
Y_{inox}	Peso Específico Del Acero Inoxidable
$\rho_{poliuretano}$	Densidad Del Poliuretano
θ	Posición Angular Final
θ_o	Posición Angular Inicial
ω_o	Velocidad Angular Final
α	Aceleración angular
σ_{max}	Esfuerzo Máximo
σ_a	Esfuerzo Alternante
σ'_a	Esfuerzo Alternante De Von Mises
T_{xy}	Esfuerzo Cortante
σ'_m	Esfuerzo Medio De Von Mises
ϕ	Diámetro
σ_c	Esfuerzo De Compresión
σ_t	Esfuerzo De Tensión
A	Area
a	Ancho
A_b	Area Del Perno
A_t	Area De Tensión
C	Factor De Rigidez
c	Eje Neutro
C_{carga}	Factor De Carga
$C_{confiabilidad}$	Factor De Confiabilidad
C_r	Capacidad Básica De Carga Dinámica
$C_{superficie}$	Factor De Superficie
$C_{tamaño}$	Factor De Tamaño
$C_{temperatura}$	Factor De Temperatura
d	Diámetro
d_i	Diámetro Interior

D_o	Diámetro Exterior
e	Espesor
E	Módulo De Elasticidad
F	Fuerza
F_a	Carga Axial
F_b	Carga Resultante Aplicado En El Perno
F_i	Precarga
F_m	Carga Resultante Aplicado En El Material
F_P	Fuerza Del Perno
F_r	Carga Radial
h	Altura Del tambor
h_i	Coefficiente Convectivo Interno
h_o	Coefficiente Convectivo Externo
I	Momento De Inercia
I_x	Momento De Inercia En El Eje X
i_x	Radio De Giro En X
I_y	Momento De Inercia En El Eje Y
i_y	Radio De Giro En Y
J	Segundo Momento Polar
K	Conductividad Térmica
K_1	Conductividad Térmica Del Tambor
K_2	Conductividad Térmica Del Aislamiento
K_3	Conductividad Térmica De La Capa Externa
k_b	Constante De Rigidez Del Perno
k_m	Constante De Rigidez Del Material
L	Longitud Del Tambor
L_{10h}	Vida Nominal Básica
L_{rosca}	Longitud De La Rosca
L_t	Longitud De Rosca En Zona De Sujeción
$L_{vástago}$	Longitud Del Vástago
m	Masa
M	Momento
M_a	Momento Alternante
M_m	Momento Medio
M_{max}	Momento Máximo
n	Velocidad Rotacional
P	Presión
P_b	Carga Aplicada En El Perno
P_m	Carga Aplicada En El Material
Pot	Potencia
Pr	Prandalt
P_r	Carga Dinámica Equivalente Radial
r	Radio Del Tambor
R	Reacción

r_2	Radio Dos
r_3	Radio Tres
r_c	Radio Del Círculo
Re_d	Reynolds
r_i	Radio Interior
r_o	Radio Exterior
$S_{e'}$	Límite De Resistencia A La Fatiga Corregido
S_e	Límite De Resistencia A La Fatiga
S_p	Resistencia De Prueba Mínima
S_{sy}	Límite De Fluencia Elástico A Cortante
S_T	Resistencia De Diseño
S_{UT}	Resistencia Máxima A La Tensión
S_Y	Límite Elástico A La Tensión
t	Tiempo
T	Torque
T_i	Temperatura Interna
T_{max}	Torque Máximo
T_o	Temperatura Externa
T_{si}	Temperatura Superficial Interior
T_{so}	Temperatura Superficial Exterior
U	Coefficiente De Transferencia de Calor
v	Velocidad
$V_{aislamiento}$	Volumen De Aislamiento
V_C	Volumen Del Cilindro
$V_{Capa Externa}$	Volumen De Capa Externa
V_{Lamina}	Volumen De Lámina
V_{max}	Fuerza Cortante Máxima
$V_{Pared Cilindro}$	Volumen De La Pared Del Cilindro
$V_{Pared Cilindro Aislante}$	Volumen De Pared Del Cilindro Aislante
$V_{Paredes Laterales}$	Volumen De Paredes Laterales
$V_{Paredes Laterales Aislante}$	Volumen De Paredes Laterales Aislante
V_T	Volumen Del Tambor
V_{Tambor}	Volumen Del Tambor
w	Carga Lineal
W_x	Momento Resistente En X
W_y	Momento Resistente En Y

ÍNDICE DE FIGURAS

		Pág.
Figura 1.1.	Molde De Compresión Vacío Y Cerrado.....	7
Figura 1.2.	Mitad Inferior De Un Molde De Nueve Cavidades.....	8
Figura 1.3a.	Cierre De Molde Cargado.....	12
Figura 1.3b.	Molde Cargado, Cerrado Bajo Calor Y Presión.....	12
Figura 1.4.	Prensa Básica Para Moldeo Por Compresión Y Traslación.....	13
Figura 1.5a.	Sección Transversal Conceptual A Través De Un Molde De Traslación – Movimiento Del Compuesto Hacia La Cavidad.....	15
Figura 1.5b.	Sección Transversal Conceptual A Través De Un Molde De Traslación-Molde De Traslación Abierto Después De La Cura.....	16
Figura 2.1.	Sistema De Desbarbado Criogénico.....	22
Figura 2.2.	Influencia De Velocidades De Rotación.....	24
Figura 2.3.	Agitador Criogénico.....	25
Figura 2.4.	Método De Tiro Destructor.....	27
Figura 2.5.	Formas De Medios Sólidos.....	27
Figura 2.6.	Tiro Destructor Criogénico.....	29
Figura 3.1.	Localización De Reborde Inaceptable.....	38
Figura 3.2.	Localización De Reborde Aceptable.....	38
Figura 3.3.	Problema De Línea De Separación.....	39
Figura 3.4.	Espesor Ideal de la Rebaba.....	39
Figura 3.5.	Exceso A Recortar.....	40
Figura 3.6.	Espesor De Pie De La Rebaba.....	40
Figura 3.7.	Espesor De La Pieza De Caucho.....	41
Figura 3.8.	Posición De Rebaba Errónea.....	41
Figura 3.9.	Posición De Rebaba Correcta.....	42
Figura 3.10.	Rebaba Interna.....	42
Figura 3.11.	Rebaba Fácil De Alcanzar.....	43
Figura 3.12.	Tamaño Del Medio Erróneo.....	43
Figura 3.13.	Medio Preciso Para Canal.....	44
Figura 3.14.	Piezas Con Esquinas.....	44
Figura 3.15.	Piezas Con Bordes Afilados.....	45
Figura 3.16.	Pieza Espumosa.....	45
Figura 4.1.	Tambor Para Desbarbado.....	48
Figura 4.2.	Piezas Después Del Proceso De Desbarbado.....	49
Figura 4.3.	Esquema Del Árbol Inyector.....	51
Figura 4.4.	Rodamiento Rígido De Bolas.....	52
Figura 4.5.	Estructura De Soporte De La Máquina.....	53
Figura 4.6.	Motor Eléctrico.....	55

Figura 4.7.	Componentes Del Acero Inoxidable.....	61
Figura 5.1.	Partes Constitutivas Del Cuerpo.....	65
Figura 5.2.	Geometría Del Tambor.....	67
Figura 5.3.	Gráficos De Las Distintas Medidas Obtenidas.....	68
Figura 5.4.	Geometría Del Cilindro De Diseño.....	70
Figura 5.5.	Cortes Transversales Del Cilindro.....	70
Figura 5.6.	Corte De La Sección Transversal Del Cilindro.....	74
Figura 5.7.	Aislamiento vs. Temperatura Superficial.....	80
Figura 5.8.	Sección Transversal Derecha De La Tapa.....	81
Figura 5.9.	Sección Transversal Frontal De La Tapa.....	81
Figura 5.10.	Corte Transversal Del Cuerpo.....	89
Figura 5.11.	Diagrama De Variación De Momento.....	93
Figura 5.12.	Acople Giratorio.....	103
Figura 5.13.	Acople Giratorio Axial.....	103
Figura 5.14.	Esquema De La Estructura De Soporte.....	104
Figura 5.15.	Esquema De Las Secciones De Vigas.....	106
Figura 5.16.	Esquema De Las Cargas En La Estructura.....	106
Figura 5.17.	Esquema De La Cubeta De Recolección.....	117
Figura 5.18.	Esquema Del Tambor.....	123
Figura 5.19.	Rayado Del Tambor En Plancha De Acero Inoxidable 304.....	124
Figura 5.20.	Esquema De La Capa Externa.....	125
Figura 5.21.	Rayado De La Capa Externa En Plancha De Acero Inoxidable 304.....	126
Figura 5.22.	Corte Transversal De Vista Frontal De La Tapa.....	127
Figura 5.23.	Corte Transversal De Vista Lateral De La Tapa.....	128
Figura 5.24.	Rayado De La Tapa En Plancha De Acero Inoxidable 304.....	128
Figura 5.25.	Esquema Del Árbol Inyector Con El Cuerpo.....	129
Figura 5.26.	Ensamble De La Estructura De Soporte.....	130
Figura 5.27.	Ensamble De La Cubeta De Recolección.....	131
Figura 5.28.	Rayado De La Cubeta De Recolección En Plancha Acero Inoxidable.....	132

ÍNDICE DE TABLAS

		Pág.
Tabla 1	Rango De Temperatura Para Materiales Elastoméricos Comunes.....	31
Tabla 2	Posibles Relaciones L/R Para Determinar Radio, Longitud Y Altura.....	68
Tabla 3	Medidas De Radio, Longitud Y Altura Ideales.....	69
Tabla 4	Resistencia De Diseño A Temperatura De -130 °C.....	71
Tabla 5	Espesor Y Temperatura Superficial Externa Obtenidos.....	79
Tabla 6	Características Del Perno Seleccionado.....	83
Tabla 7	Características Del Tubo De Acero Inoxidable AISI 304.....	94
Tabla 8	Tabla De Efectos Dimensionales.....	97
Tabla 9	Valores De A Y b Para Acabado Superficial.....	98
Tabla 10	Efectos De Temperatura Del Ambiente De Trabajo.....	98
Tabla 11	Características Del Rodamiento 7910 NTN.....	102
Tabla 12	Medidas De Acoples Giratorios.....	103
Tabla 13	Secciones Diferentes De Vigas.....	105
Tabla 14	Propiedades De Los Perfiles De Las Vigas.....	107
Tabla 15	Datos Del Motor, Velocidad Sincrónica 1800 Rpm, 60 Hz, Nema Diseño B, Trabajo Continuo, Temperatura Ambiente 40°C Y Hasta 3300 Pies De Elevación.....	134

INTRODUCCIÓN

Antiguamente para la remoción de las imperfecciones de piezas moldeadas, ya sean de caucho u otros elastómeros, se utilizaban navajas, tijeras y otros métodos manuales, obteniendo así un producto con un acabado superficial aceptable. Con el desarrollo de la industria de los elastómeros, surgieron nuevos productos los cuales demandaban un mejor aspecto, no solo visual sino también en términos de tolerancias y ajustes de piezas para el ensamble de máquinas. Por lo cual, los métodos convencionales no satisfacían los requerimientos y es así que aparecen nuevos métodos con mayor eficiencia en el trabajo de remoción de desperfectos.

Uno de los métodos de remoción de imperfecciones de piezas moldeadas más eficiente y utilizado en los últimos cincuenta años a nivel mundial es el Desbarbado Criogénico, el cual es un proceso que utiliza un sistema criogénico y energía cinética para remover las rebabas que sobresalen en las piezas después del proceso de moldeo.

Con el Desbarbado Criogénico se obtiene un mejor acabado superficial en las piezas moldeadas aprovechando las ventajas de las máquinas y los avances tecnológicos, evitando así el uso de métodos manuales y los peligros que estos conllevan.

Alemania es uno de los países pioneros en el desarrollo de esta tecnología, quienes actualmente son líderes en la comercialización de las máquinas de desbarbado a nivel mundial, acaparando a su vez el mercado ecuatoriano.

Con el libre mercado y la fuerte competencia internacional las industrias ecuatorianas deben buscar nuevas formas de fabricar productos de excelente calidad, en menor tiempo y con bajos costos de inversión. Para conseguir esto las empresas deben aprovechar el avance tecnológico disponible y nuevos métodos de producción para reemplazarlos por los actuales.

Mediante este proyecto de tesis, propongo el “**DISEÑO DE UNA MÁQUINA PARA DESBARBADO CRIOGÉNICO DE PIEZAS DE CAUCHO MOLDEADAS TIPO AGITADOR**”, para una empresa productora de elementos de caucho fabricados mediante procesos de moldeo, consiguiendo así una mayor producción, menor empleo de mano de obra y una excelente calidad.

CAPÍTULO 1

1. PROCESO DE MOLDEO DE PIEZAS DE CAUCHO

1.1 Obtención del Caucho

Actualmente se conoce dos formas de obtener caucho. La primera se extrae de una planta y se lo denomina caucho natural, y la segunda forma se lo obtiene a base de reacciones químicas y se lo denomina caucho sintético. A continuación se explica con más detalles la forma de obtener el caucho.

- **Caucho natural**

En estado natural, el caucho aparece en forma de suspensión coloidal en el látex de plantas productoras de caucho. Una de estas plantas es el árbol de la especie *Hevea Brasiliensis*, de la familia de las Euforbiáceas, originario del Amazonas. El caucho en bruto obtenido de otras plantas suele estar contaminado por una

mezcla de resinas que deben extraerse para que el caucho sea apto para el consumo.

El caucho bruto en estado natural es un hidrocarburo blanco o incoloro. El compuesto de caucho más simple es el isopreno o 2-metilbutadieno, cuya fórmula química es C_5H_8 . A la temperatura del aire líquido, alrededor de $-195\text{ }^{\circ}\text{C}$, el caucho puro es un sólido duro y transparente. De 0 a $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ es frágil y opaco, y por encima de $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ se vuelve blando, flexible y translúcido. Al amasarlo mecánicamente, o al calentarlo por encima de $50\text{ }^{\circ}\text{C}$, el caucho adquiere una textura de plástico pegajoso. A temperaturas de $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ o superiores se descompone (1).

- **Caucho sintético**

Puede llamarse caucho sintético a toda sustancia elaborada artificialmente que se parezca al caucho natural. Se obtiene por reacciones químicas, conocidas como condensación o polimerización, a partir de determinados hidrocarburos insaturados. Los compuestos básicos del caucho sintético llamados monómeros, tienen una masa molecular relativamente baja y forman moléculas gigantes denominadas polímeros. Después de su fabricación, el caucho sintético se vulcaniza. Se producen varios

tipos de caucho sintético: neopreno, buna, caucho de butilo y otros cauchos especiales.

1.2 Preparación del Caucho

Después de obtener el caucho, se lo trata químicamente y físicamente con el fin de obtener un material mas plástico, pegajoso y mas soluble con disolventes orgánicos. Luego se le adiciona pigmentos, ablandadores y agentes vulcanizantes como el azufre aplicado en mezcladores.

El caucho vulcanizado tiene más fuerza, elasticidad y mayor resistencia a los cambios de temperatura que el no vulcanizado; además es impermeable a los gases y resistente a la abrasión, acción química, calor y electricidad. También posee un alto coeficiente de rozamiento en superficies secas y un bajo coeficiente de rozamiento en superficies mojadas por agua. Es de esta forma que se conoce mas como caucho que en estado bruto.

1.3 Proceso de fabricación de Productos de Caucho por Moldeo

En este capítulo se explicará en detalle cada parámetro que se debe considerar para el proceso de moldeo.

- **Moldeo**

El moldeo es el más importante de los procesos de curado, donde el caucho ligado-sin curar se coloca en un molde caliente que le da la última forma del producto y entonces vulcaniza el material.

La mayoría de moldeo de caucho esta basado en introducir un compuesto sólido en un molde, aunque pueden introducirse uretanos y silicones como sólidos o líquidos. Cerrar el molde requiere una presión mecánica alta para así formar la figura del producto; esta presión se proporciona por medio de una prensa. Así el molde debe ser bastante fuerte para evitar ser aplastado. Podría necesitarse acero de herramienta endurecido con una dureza de 60 de Rockwell C aproximadamente (2).

- **El molde**

Un molde podría describirse simplemente como al menos dos piezas de material (típicamente acero), que cuando están encajados forman una cavidad, pareciéndose a la forma del producto. Puede variar en tamaño y tener una sola cavidad para hacer un producto en una vez, o varias cavidades para hacer más de una.

- **Diseño del molde**

Es muy importante que las dos mitades del registro del molde encajen exactamente juntos. En la figura 1.1 se observa que los pasadores construidos en la sección superior encajaron cómodamente en los agujeros taladrados en la mitad inferior. Cualquier holgura entre el pasador y el agujero puede causar que la mitad superior del producto este fuera de alineamiento con la mitad inferior.

Las dimensiones del molde son típicamente diseñados para ser alrededor del 1.5% mayor (basado en dimensiones lineales) que aquellos que se requiere en los productos de caucho, para compensar la diferencia en la expansión térmica entre el caucho y acero.

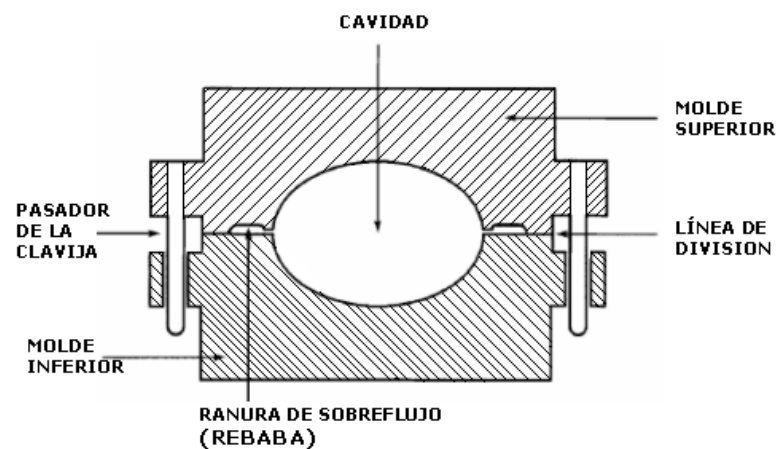


FIGURA 1.1. MOLDE DE COMPRESIÓN VACÍO Y CERRADO.

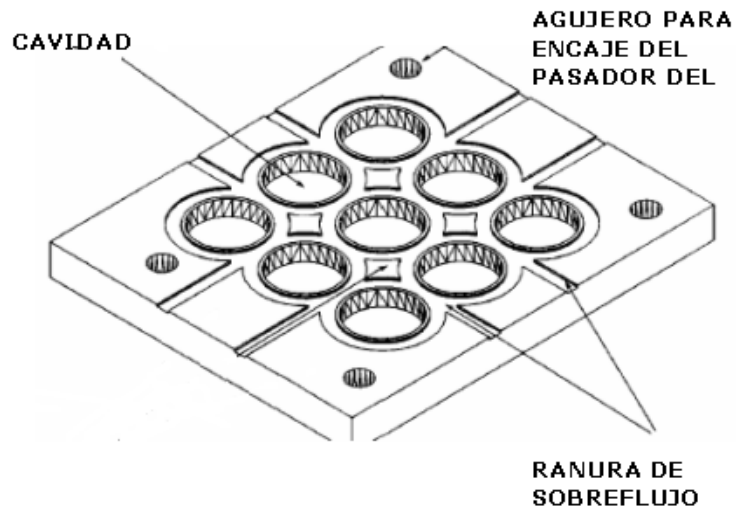


FIGURA 1.2. MITAD INFERIOR DE UN MOLDE DE NUEVE CAVIDADES

Las ranuras de sobreflujo (rebaba) se mecanizan alrededor de la cavidad del molde. En teoría, esto es para contener el caucho en exceso del volumen de la cavidad. Esto es necesario para desalojar el aire y que la pieza salga completa. En la práctica para los moldes de compresión, no es raro ver durante el cierre, material llenando la cavidad, luego derramándose fuera de las ranuras de sobreflujo, e incluso por un área exterior de las ranuras, y luego fuera del molde. Este material en exceso es conocido como rebaba.

- **Introducción del compuesto en el molde**

Hay diferentes maneras de introducir el compuesto en el molde. Cada uno de ellos confiere ciertas ventajas no encontradas en los otros.

- a) En el plan más básico, (vea Figura 1.1, moldeo de compresión), se colocan pedazos de compuesto de caucho en la cavidad inferior y se comprime usando la mitad superior del molde.
- b) La primera modificación es el moldeo de traslación, el cual puede ser visualizado a través del exterior de la mitad superior del molde de un molde de compresión a través de la cavidad. Así el molde puede permanecer cerrado mientras el compuesto de caucho es introducido a través de estos agujeros en la cavidad Usando la fuerza ejercida por la platina de presión.
- c) Si se usa un mecanismo separado, no relacionado a la platina de presión, el cual inyecta el compuesto a través de los agujeros, esto seria moldeo de inyección.

1.3.1 Moldeo por Compresión

Es el mas simple, el mas barato y probablemente el mas extenso de las tres técnicas de moldeo básico. Es idealmente ajustado para pequeñas cantidades de producción, es decir, de

alrededor de quince a un poco mas de mil de cada producto anualmente. La figura 1.3a y 1.3b muestra las diversas fases en el proceso de moldeo. Una de las claves para un moldeo exitoso es la adecuada remoción del aire mientras la cavidad del molde se esta llenando con caucho.

Las piezas sin curar del compuesto colocados en el molde son conocidos como reformas, billetes o pesos de carga. Normalmente el peso de esta preforma será elegido para ser de poco porcentaje (de 2 a 10%) superior al peso del producto final (2), para garantizar un producto formado totalmente y dar un 'empujón' extra para la expulsión de cualquier residuo de aire atrapado. La preforma es colocada en la cavidad inferior y la sección superior del molde se coloca manualmente. Si un número significativo de moldeos esta por hacerse, es a menudo ventajoso arreglar las dos mitades del molde a su respectiva platina de presión, como en la figura 1.4 así reduciendo la manipulación manual y por lo tanto los costos de mano de obra.

El molde es continuamente calentado a una cierta temperatura, normalmente entre 120°C y 180°C (2). Un tiempo de cura para una pieza mas pequeña podría ser de 20 min, y 150°C (2), para

secciones transversales finas (6 mm). En este caso, temperaturas debajo de 150°C podría reducir el tiempo de cura a 10 min o menos. Si observamos una baja dureza en el caucho curado, usualmente se incluye poco o nada de relleno (NBR & CR), o alternativamente rellenar mas una gran cantidad de aceite. Esto puede hacer que su viscosidad también baje para un moldeo por compresión exitoso y el compositor puede esforzarse en incrementar su viscosidad, un grado de viscosidad Mooney alta para un elastómero de goma cruda.

En el otro lado de la escala, los compuestos de alta dureza vulcanizados con las porciones de rellenos altamente reforzante necesitara ayudas del proceso especializado, y elastómeros de goma cruda de baja viscosidad Mooney, para reducir la viscosidad, y así promover el flujo del compuesto en el molde.

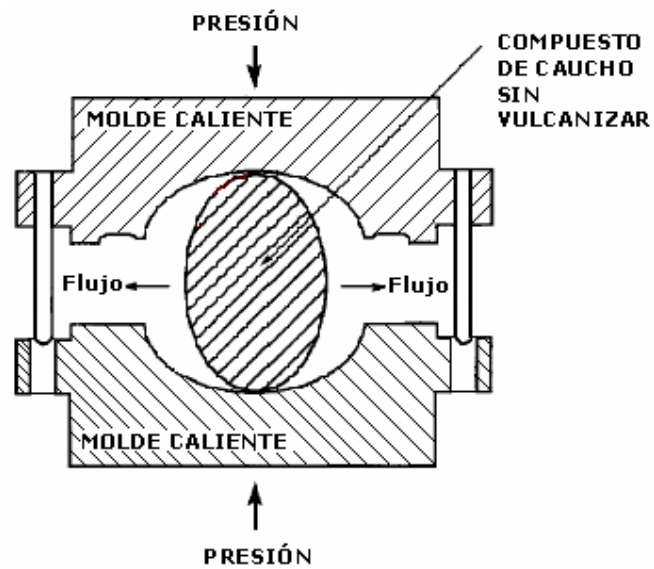


FIGURA 1.3a. CIERRE DE MOLDE CARGADO

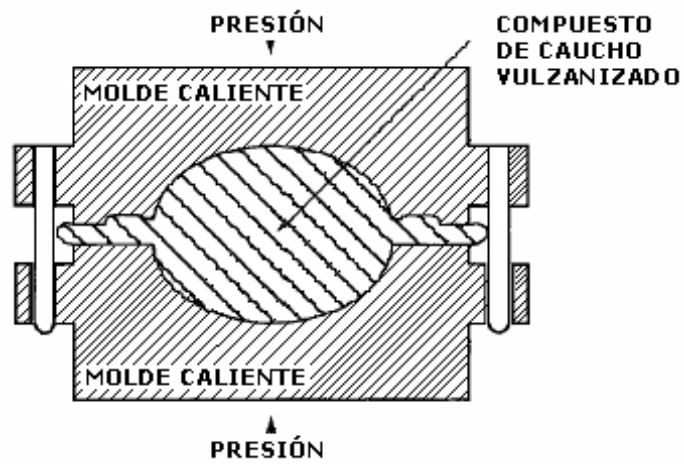


FIGURA 1.3b. MOLDE CARGADO, CERRADO BAJO CALOR Y PRESIÓN

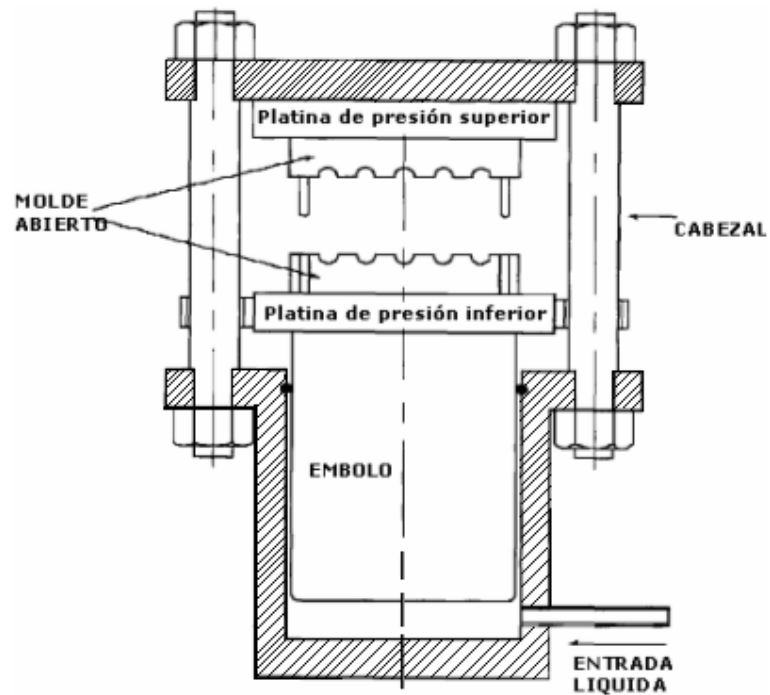


FIGURA 1.4. PRENSA BÁSICA PARA MOLDEO POR COMPRESIÓN Y TRASLACIÓN

La prensa necesita ejercer una cierta cantidad de presión para permitir al compuesto fluir en las cavidades y por el molde para cerrar apropiadamente. El objetivo es obtener una rebaba delgada, 'con suerte', alrededor de 0.05 mm.

El área de los arietes de la prensa, dividido por el área proyectada del caucho y la rebaba entre las mitades del molde, multiplicado por la presión de la línea en la prensa, dará la

presión ejercida en el producto en el molde cerrado. La presión requerida es típicamente de 7-10.5 MPa y variará de acuerdo con características tales como la viscosidad del compuesto y la complejidad de la cavidad del molde. El molde se diseña para soportar alto esfuerzo involucrado.

El flujo de material en un molde es un proceso complejo, sobre todo el moldeo por compresión. El caucho en la cavidad está sometiéndose a grandes cambios de temperatura, lo que se traduce a variaciones de la viscosidad, y así continuamente alterando las características de flujo del compuesto.

1.3.2 Moldeo por Traslación

Si tomamos la mitad superior de un molde de compresión, luego taladramos agujeros de traslación a través de él y se pone un cuello de metal (olla de traslación) en el molde cerrado para rodear todos los agujeros, nosotros lo hemos convertido en un molde de traslación.

Todos lo que se necesita ahora es poner el compuesto de caucho en la olla y forzarlo a través de los agujeros poniendo un pistón (embolo) en la olla y usar las platinas de la prensa para obligar al pistón empujar el compuesto hacia abajo a

través de la olla en la cavidad del molde cerrado, vea Figura 1.5a y 1.5b. Alternativamente, la olla de traslación puede diseñarse para ser una parte integral del molde y el pistón puede fijarse a la platina superior de la prensa.

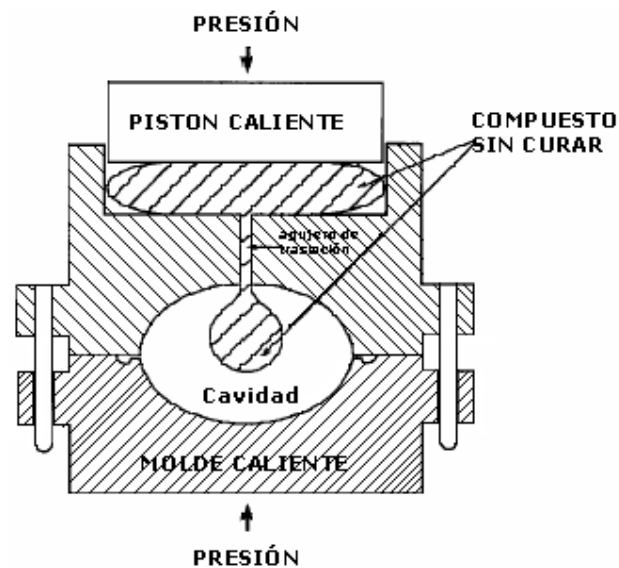


FIGURA 1.5A. SECCIÓN TRANSVERSAL CONCEPTUAL A TRAVÉS DE UN MOLDE DE TRASLACIÓN – MOVIMIENTO DEL COMPUESTO HACIA LA CAVIDAD

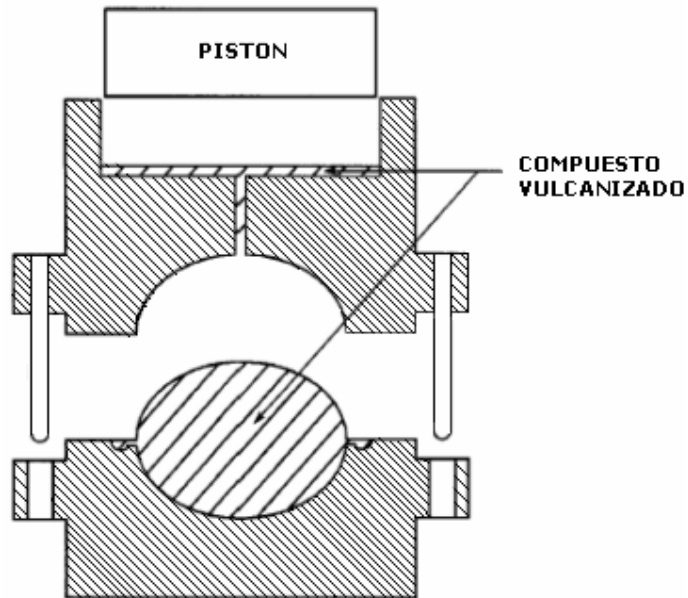


FIGURA 1.5B. SECCIÓN TRANSVERSAL CONCEPTUAL A TRAVÉS DE UN MOLDE DE TRASLACIÓN-MOLDE DE TRASLACIÓN ABIERTO DESPUÉS DE LA CURA

Ya que el caucho puede ser considerado como un fluido no Newtoniano tixotrópico, la esquila entre él y las paredes de los agujeros de traslación reduce su viscosidad, permitiendo así el compuesto entrar en la cavidad del molde más fácilmente. La esquila también calienta al compuesto lo que reduce la viscosidad y las velocidades de cura.

El pistón puede ser ligeramente adelgazado para permitir el retiro más fácil del producto después de la cura. Si el área de la superficie de la olla es más pequeña que el área total proyectada del caucho entre las mitades de los moldes superior e inferior, la fuerza de 'reacción' que empuja la sección de molde superior hacia arriba, será mayor que la fuerza del pistón, a través del caucho en la olla, manteniéndolo. La mitad del molde superior tenderá a flotar, permitiendo al compuesto salirse entre la ahora línea de la separación abierta, hasta que el pistón se asiente, cerrando el molde. Esto produce una excesiva rebaba entre las mitades del molde. Si el área de la olla es suficientemente grande, como debe ser, el molde se queda cerrado con una mínima rebaba. El moldeo de traslación puede usar presiones alrededor de 14 MPa, algo superior que el moldeo por compresión.

1.3.3 Moldeo por Inyección

Un molde de inyección consiste en un cilindro (el barril inyección) con un ariete o rosca dentro de él, para que el compuesto de caucho pueda moverse hacia una boquilla en su fin. La boquilla se aprieta entonces contra un agujero hecho en la mitad superior de un molde cerrado. Este agujero se conecta

entonces a unos agujeros más pequeños (portales y corredores) que entra en las cavidades del molde.

El compuesto puede presentarse al barril como una tira continua, o en forma granulada a través de un depósito de alimentación, como en moldeo de inyección de plásticos. Un ariete tiene un ataque más firme en el barril que en un tornillo y por consiguiente hay menos goteo al revés a través del barril; también es más barato que un tornillo. El tornillo 'mezcla' el compuesto con mover hacia la boquilla, creando más calor friccional y por consiguiente temperaturas más altas que trasladan al flujo más fácil y los tiempos de la cura más cortos. Una combinación de ariete y tornillo es popular.

1.4 Necesidad del Proyecto

Mundialmente, la industria del caucho y los polímeros han evolucionado de manera significativa en los últimos años, creando productos que vienen reemplazando en gran porcentaje al acero que ha sido la materia prima importante para el desarrollo industrial y tecnológico. Esto se debe a su bajo costo, peso y larga duración, teniendo propiedades mecánicas que en algunos casos son casi parecidas al del acero.

Pero la realización de este proyecto de tesis surge por la necesidad de la industria del caucho en conseguir un mejor acabado superficial para sus productos manufacturados, ya que como se explicó en este capítulo, en el proceso de fabricación se producen rebabas lo cual perjudica en la comercialización de los productos, así como en su demanda para procesos mas complejos dentro de la industria tecnológica avanzada.

El proceso para obtener la eliminación de las rebabas de los productos de caucho manufacturados a través del proceso de moldeo que es el inconveniente a resolver se denomina “desbarbado”. Existen muchos métodos para conseguir el desbarbado de las piezas de caucho entre los cuales se conocen: el desbarbado por medio del uso manual de navajas y tijeras, el desbarbado por medio del uso de químicos, etc.

Pero existe un método de desbarbado mucho mas eficiente que los mencionados anteriormente que se denomina “desbarbado criogénico”, que se realiza mediante la manipulación de un equipo criogénico que usando nitrógeno líquido o dióxido de carbono se logra la eliminación optima de las rebabas sin que la pieza o producto a comercializar se vea afectada, empleando en menor cantidad mano obrera y con un tiempo de realización de dicho proceso mas bajo.

Es así, que existe una pauta para que los estudiantes de ingeniería mecánica demos todas nuestras capacidades y pongamos en práctica lo que hemos aprendido en las aulas de clase para desarrollar el diseño de una máquina que facilite la realización del proceso de desbarbado criogénico, para que la sociedad en sí se de cuenta de lo competitivos que somos.

De esta forma, el **“Diseño de una Máquina para Desbarbado Criogénico de Piezas de Caucho Moldeadas Tipo Agitador”**, permitirá a cualquier empresa o fábrica que se dedique a la manufactura de piezas de caucho conseguir un buen acabado superficial de su producto y obtener de esta forma la optimización de la producción, dando como resultado un mejoramiento de la comercialización.

CAPÍTULO 2

2. ANALÍISIS DEL PROCESO DE DESBARBADO CRIOGÉNICO DE PIEZAS DE CAUCHO

2.1 Principio de Desbarbado Criogénico

El desbarbado criogénico es un proceso en el cual piezas moldeadas de caucho y plástico se fragilizan utilizando nitrógeno líquido o dióxido de carbono para remover las rebabas que sobresale en el material después del proceso de moldeo por medio de energía cinética.

La energía cinética resulta de un tambor rotatorio (agitador) o de gránulos plásticos los cuales son disparados por una rueda de tiro que da vuelta (tiro destructor).

El desbarbado criogénico esta basado en dos realidades físicas:

- El caucho se vuelve quebradizo y
- La rebaba puede ser removido a través de un impacto.

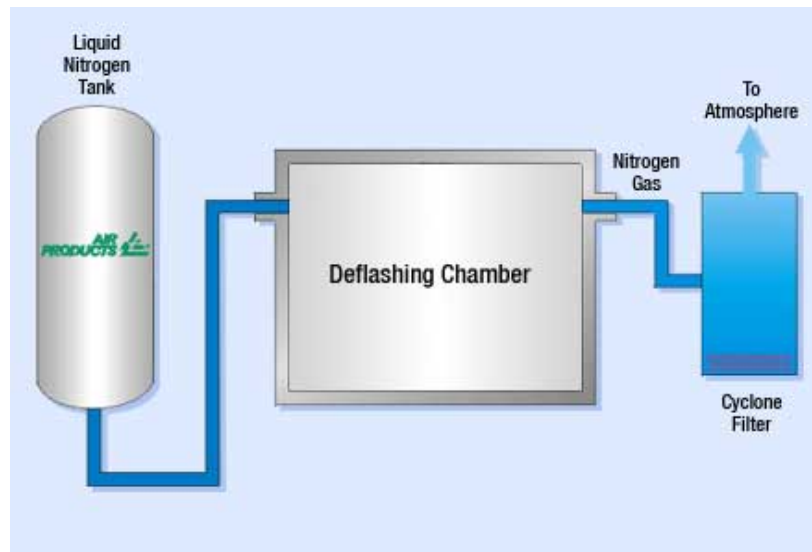


FIGURA 2.1. SISTEMA DE DESBARBADO CRIOGÉNICO

El nitrógeno líquido a -320°F (-196°C) tiene suficiente fuerza de impulso para fragilizar casi todo, más aun elementos elastómeros que son manufacturados hoy en día. Usando esta fuerza, se congela primero las finas secciones de las rebabas, mientras que la parte real permanecerá algo flexible en las fases iniciales del proceso de acabado. Esto se logra con un tiempo apropiado de iniciación del trabajo mecánico, es decir, después que la rebaba ha alcanzado su punto de cristalización. La rebaba es así removida en su eficiencia máxima teórica, en términos de tiempo y criogenia requerida para acompañar la tarea.

2.2 Métodos de Desbarbado Criogénico

Existen dos métodos de conseguir un desbarbado criogénico que son mediante el tumbo criogénico y mediante el tiro destructor. Estos métodos se utilizan de acuerdo a la necesidad de desbarbado lo cual se explica a continuación con detalles.

2.2.1 Método de Tumbo Criogénico

La teoría del tumbo criogénico es:

Se baja la temperatura de la atmósfera de un agitador mecánico hasta que alcance una temperatura de operación requerida, después del cual piezas de caucho son cargadas dentro de un barril. A continuación estas son llevadas a su vez a su temperatura de fragilización, al tiempo que se imparten energía mecánica unas contra otras mediante un proceso de agitación, y como resultado de esto las rebabas se remueven al término del mismo. Para optimizar al proceso de desbarbado, en la etapa de agitación se adiciona al barril medios sólidos denominados asistentes del agitador para lograr mayor limpieza y mejorar el acabado de la pieza final. Los asistentes del agitador reducen los tiempos de ciclos e incrementan el punto de control del nitrógeno (3).

Estos asistentes vienen en varios tamaños y materiales. Una regla de agitación cuando se usan los medios sólidos es: empezar con uno a uno el radio de volumen y trabajar con ese punto de partida

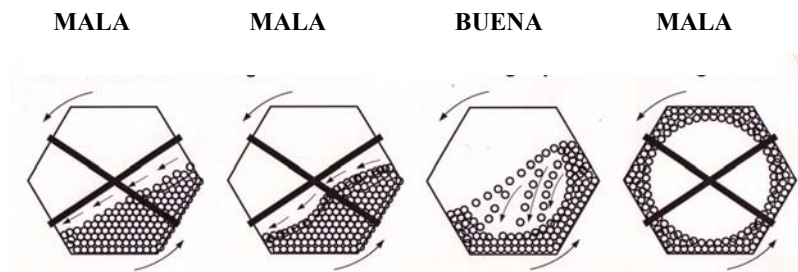


FIGURA 2.2. INFLUENCIA DE VELOCIDADES DE ROTACIÓN

El agitador criogénico es el más común de los tipos de equipos mecánicos usados para el desbarbado de piezas moldeadas de cualquier tipo de elastómero. Su diseño puede dar años de servicio con poco mantenimiento. Son fáciles de operar, tienen alta capacidad de producción y son eficientes con nitrógeno.

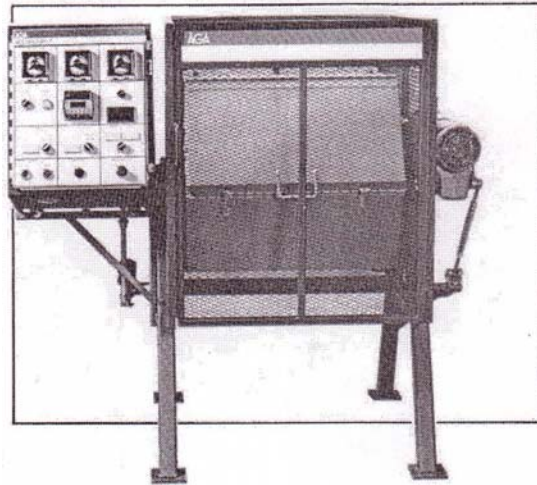


FIGURA 2.3. AGITADOR CRIOGÉNICO

Los agitadores son normalmente usados para desbarbar piezas que tienen una geometría simple, es decir que la rebaba debe estar localizada en el diámetro exterior de la pieza y que no tenga ningún filo o superficie crítica. Sin embargo los agitadores tienen la gran ventaja de que el espesor de la rebaba no es impedimento para su uso. La fuerte o gruesa rebaba puede ser a veces removida con éxito con el incremento de la velocidad del barril o con un leve aumento en el tiempo del ciclo, o a su vez usando los agitadores. Sin embargo, la rebaba más fina siempre será más fácil de remover consiguiendo que las velocidades de producción permanezcan altas y la inversión de nitrógeno sea controlado.

2.2.2 Método de Tiro Destructor

La teoría del tiro de destrucción criogénica es:

Piezas de caucho son cargadas dentro de una canasta o sobre una banda, y pre-enfriada hasta su temperatura de desbarbado. A continuación estas son llevadas a su temperatura de fragilización con nitrógeno a chorro a la vez que se agitan mediante un movimiento de rotación. Un impulsor a gran velocidad dispara un medio sólido de policarbonato a las piezas expuestas. Viajando a altas velocidades, este medio sólido remueve limpiamente las rebabas. Después del ciclo de acabado las piezas van a través de un post ciclo de agitación, el cual permite a las pequeñas rebabas a desprenderse y el medio consumido salir de la cámara de destrucción. Luego la rebaba y el medio se separan en una cubeta de recolección. Las piezas mientras tanto son automáticamente descargadas a un contenedor (3).

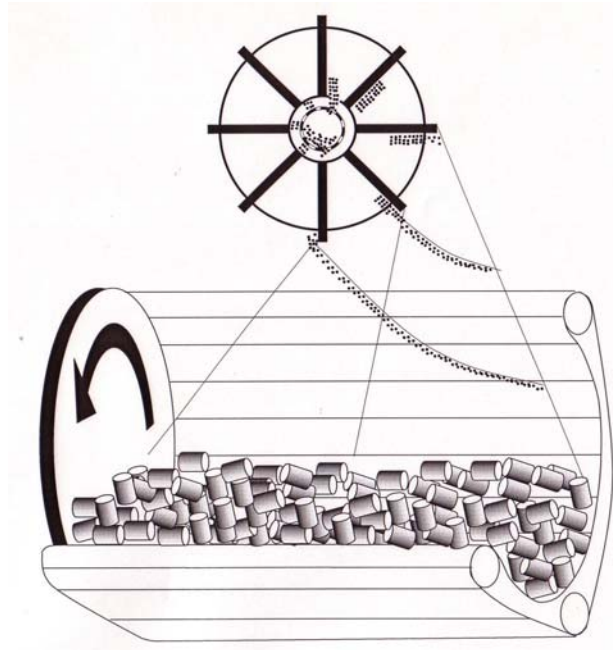


FIGURA 2.4. MÉTODO DE TIRO DESTRUCTOR

Existen diferentes formas y materiales de medios sólidos:

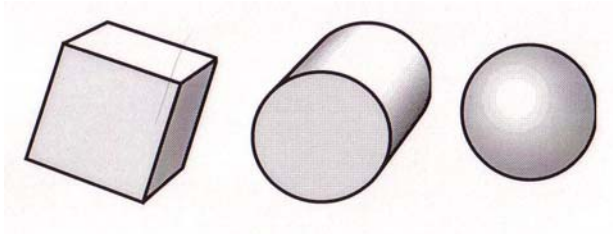


FIGURA 2.5. FORMAS DE MEDIOS SÓLIDOS

PC Policarbonato

PA Poliamida

PTFE Politetrafluretileno

El tiro destructor criogénico es el método más versátil de remoción de rebabas de artículos de caucho moldeados. Algunas ventajas entre la tiro destructor contra el agitador criogénico son que permite la remoción de las rebabas del diámetro interno y externo en una sola operación, a parte que es una máquina de producción muy alta y tiene la habilidad de darle el acabado superficial a las piezas delicadas, o piezas que tienen filos o superficies críticas. Algunos tipos de desbarbadores (especialmente aquellas con una posible velocidad de rotación de tiro alta) tienen la gran desventaja de que la máquina que no puede mantenerse inactiva, en caso contrario la máquina empezaría a calentarse creando problemas en el enfriador. Una vez que la máquina es enfriada a su temperatura de operación debe estar en funcionamiento constantemente, hasta el cierre.

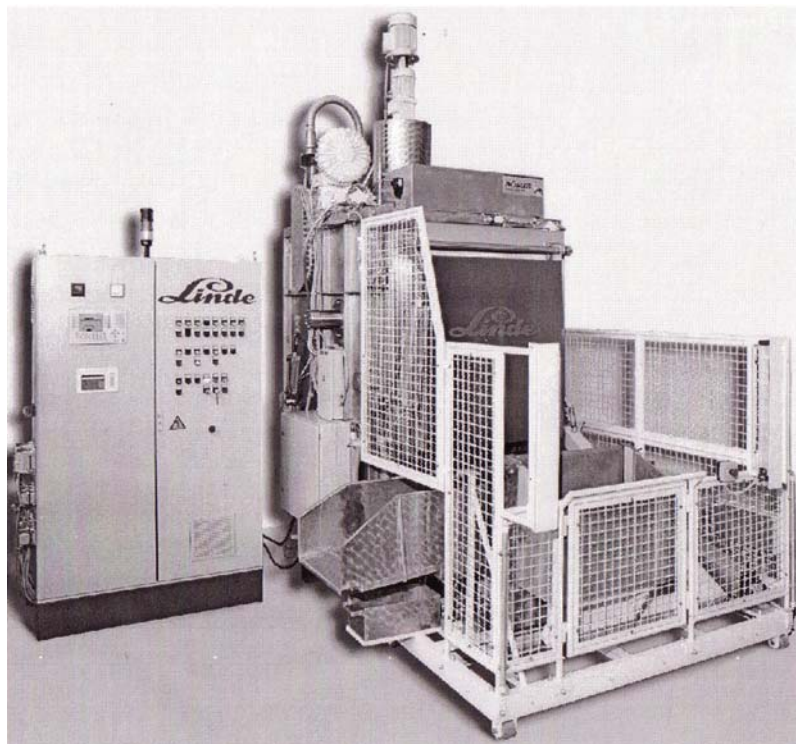


FIGURA 2.6. TIRO DESTRUCTOR CRIOGÉNICO

CAPITULO 3

3. PARÁMETROS PARA LA INICIACIÓN DE UN PROCESO DE DESBARBADO CRIOGÉNICO

Los parámetros varían de compuesto a compuesto y de pieza a pieza. El grado que ellos cambiaran, puede ser despreciado o puede ser totalmente diferente.

3.1 Factores que Afectaran el Proceso Final

Existen algunos factores que deben ser tomados en cuenta a la hora de realizar el proceso de desbarbado, porque pueden tener influencia en la calidad de la misma.

Entre algunos factores que afectarían el proceso final existen los siguientes:

I. Tipo de material:

Base elastómero o compuesto, es decir, Nitrilo, EPDM, SBR. Cada compuesto puede tener no menos de 20 variaciones después de la

composición final. (Mirar la carta de temperatura para desbarbado en apéndice A)

TABLA 1

RANGO DE TEMPERATURA PARA MATERIALES ELASTOMERICOS COMUNES

COMMON NAME	DEFLASHING TEMPERATURE RANGE			
	HIGH		LOW	
	°F	°C	°F	°C
BUTADIENE RUBBER	-112	-80	-148	-100
BUTYL RUBBER	-94	-70	-130	-90
NEOPRENE	-76	-60	-94	-70
HYPALON	-80	-62	-94	-70
HYDRIN, ECO	-45	-43	-45	-43
EPDM EPT, EPR	-94	-70	-180	-118
FLOUROELASTOMER (VITON)	-20	-29	-60	-51
FLOUROSILICONE	-90	-68	-90	-68
POLYISOPRENE	-94	-70	-130	-90
NATURAL RUBBER	-94	-70	-148	-100
NITRILE	-58	-50	-94	-70
POLYACRYLATE (VAMAC)	-76	-60	-112	-80
POLYURETHANE	-50	-46	-50	-46
SILICONE	-166	-110	-238	-150
SBR, BUNA-S	-112	-80	-148	-100
VITON (FPM)	-60	-51	-60	-51

II. Geometría de la pieza:

Existen algunos factores geométricos que pueden tener mucha influencia en el proceso de acabado, entre los cuales se hallan:

- a. Tamaño de la pieza; ya que una máquina que realizaría un buen acabado en piezas de un determinado tamaño, no precisamente cumpliría con lo mismo en piezas de mayor tamaño.
- b. Peso de la pieza; ya que las piezas mas pesadas tendrían mayor energía cinética, creando mayor impacto para romper las rebabas con facilidad.
- c. Espesor de pared; un espesor de pared muy fino no resiste tanto el impacto que una pieza de mayor espesor.
- d. Borde critico; estos bordes podrían ocasionar que la pieza se rompa con facilidad al ser manipuladas en el proceso de desbarbado.
- e. Caucho a metal unido; el metal le da mayor dificultad de quiebre a la rebaba al momento de ser desbarbado la pieza.
- f. Ranuras expuestas u ocultas; las rebabas en ranuras expuestas son mas fáciles de desbarbar que las que se encuentran en ranuras ocultas.
- g. Piezas espumadas; este tipo de piezas son muy delicadas y no resisten un proceso de desbarbado criogénico.

- h.** Piezas de cubierta compacta; son resistente al impacto por lo que son de fácil manipulación en el proceso de acabado

III. Rebaba:

- a.** Localización (I.D. / O.D.); las rebabas que se encuentran en diámetros exteriores son mas fáciles de remover que las que se encuentran en diámetros interiores.
- b.** Espesor (delgado/pesado); una rebaba que no posea una espesor mínimo de 0.05 mm no puede ser desbarbada criogénicamente.
- c.** Pegajoso; las rebabas no pueden ser pegajosas porque dificultan el proceso de acabado.
- d.** Oculto; las rebabas ocultas son más difíciles de remover que las que están más expuestas.
- e.** Tapetes o ranuras de inyección, estos puntos son críticos porque son los más difíciles de remover por su espesor alto.

IV. Dureza:

- a.** Suave; es decir, 30 Shore A; mas resistente a temperaturas frías

- b.** Duro; es decir, 80 Shore A; menos resistente a temperaturas frías

V. Inserción:

- a.** Tipo; es decir, aluminio, latón, plástico, etc.; dependiendo del material de inserción facilita o dificulta el proceso de desbarbado.
- b.** Agente vinculante; el agente vinculante puede ser mas difíciles de remover que la propia rebaba por el punto de quiebre diferente que tienen.

VI. Volumen de producción:

- a.** Alta – agitador largo (12-25 pie³ / 340-708 l) o maquina de tiro destructor (4.0 pie³ / 113 l de canasta o 6.0 pie³ / 170 l de banda de molino)
- b.** De medio a bajo – agitador pequeño (6.0 pie³ / 170 l) o maquina de tiro destructor (3/4 pie³. / 21 l o 2.0 pie³ / 57 l)

VII. Condición del molde:

- a.** Edad; los moldes de mayor uso tienen mayor dificultad para formar las piezas , por lo que no construyen una rebaba

apropiada para ser removida a través de un desbarbado criogénico.

- b.** Limpieza; es muy importante por lo que podría insertarse basuras en la pieza a construir, dificultando después el desbarbado criogénico.
- c.** Material de construcción; según sea el material mejor calidad de piezas se pueden formar en el proceso de moldeo.

VIII. Proceso de moldeo:

Existen tres formas de formas piezas de caucho a través del proceso de moldeo como se explicó en el capítulo anterior, los cuales son:

- a.** Compresión
- b.** Transferencia
- c.** Inyección

De estos tres procesos, las piezas construidas a través del proceso de compresión facilitan más al acabado superficial criogénico.

IX. Nivel de calidad del consumidor:

- a.** Tolerancia para la extensión de la rebaba; existe un límite de espacio para que se produzca la rebaba, necesaria para desalojar el aire que se encuentra en la cavidad de los moldes.
- b.** Condición de superficie; este factor es muy importante para la manufactura de la pieza porque determina su calidad.
- c.** Defectos permitidos; mientras mayor defectos haya en la pieza manufacturada mas difícil será el desbarbado criogénico.

X. Record o reporte de toda la información:

- a.** Introducir y guardar todos los parámetros; esto ayuda a realizar un buen proceso de fabricación de piezas.
- b.** Cruzar referencia de todos los números de piezas a números de recetas
- c.** Retornar todas las recetas

3.2 Configuración de la Rebaba

La configuración de la rebaba es un el factor mas importante para obtener un excelente proceso de desbarbado criogénico, la cual se explica a continuación

3.2.1 Localización de Reborde

En general la localización del reborde tendrá un impacto directo en la habilidad para desbarbar la pieza en una norma aceptable. Puede también afectar la economía de la pieza. Es muy difícil remover limpiamente el reborde mas estrecho de la pieza real. Esto puede afectar los tiempos de ciclo, y el punto de control de la temperatura. La pieza más larga esta expuesta a temperaturas criogénicas, la acción de tumbo, e impacto del medio, la gran posibilidad para la deterioración de la pieza. Estos ciclos largos pueden incrementar el consumo de nitrógeno y el uso de medio, el cual incrementara los costos de producción interna. Por eso proporcionando directamente tiempos de ciclo extendidos reduce la rentabilidad. A la inversa, es más fácil remover el reborde más lejano de la pieza. Es más fácil remover la rebaba, se necesitaran menos ciclos y poco nitrógeno para darle acabado a la pieza.

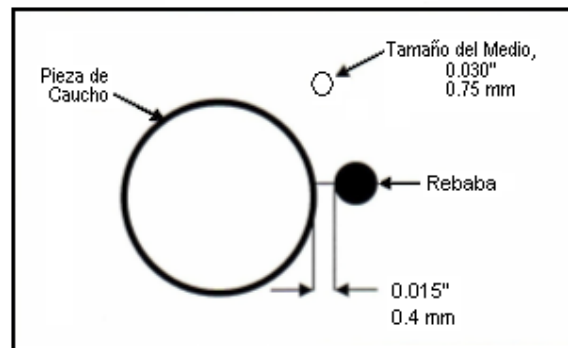


FIGURA 3.1. LOCALIZACIÓN DE REBORDE INACEPTABLE

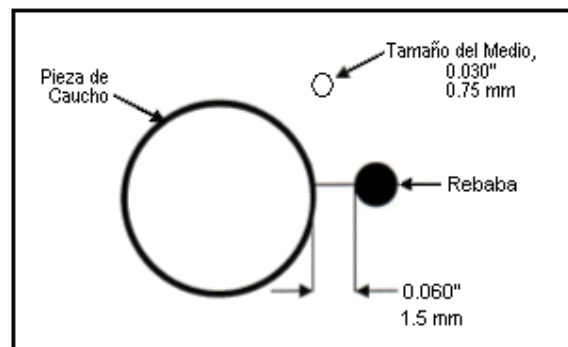


FIGURA 3.2. LOCALIZACIÓN DE REBORDE ACEPTABLE

3.2.2 Líneas de Separación

La configuración entre la línea de separación y la rebaba también afectará la calidad del desbarbado para una pieza dada. Si hay una desigualdad o diferencia entre la línea de separación y la rebaba, es muy posible remover material de la pieza mientras se remueve la rebaba. Este daño aparecerá como minúsculos hoyos a lo largo de la línea de separación.

Cuando esto ocurre es casi imposible obtener piezas aceptables sin reactivar el molde.

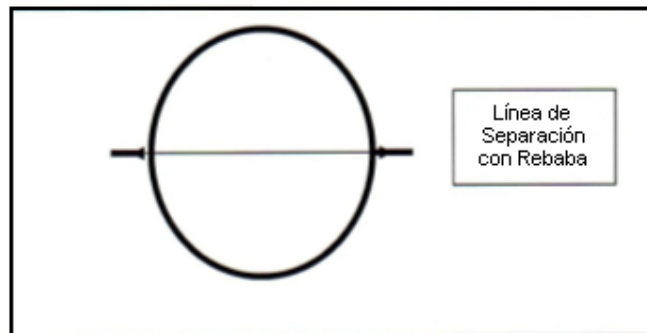


FIGURA 3.3. PROBLEMA DE LÍNEA DE SEPARACIÓN

3.2.3 Configuración Especial de la Rebaba

- **Espesor de la Rebaba**

La mejor rebaba es entre 0,05 – 0,2 mm ó 0,002 – 0,008 pulg.

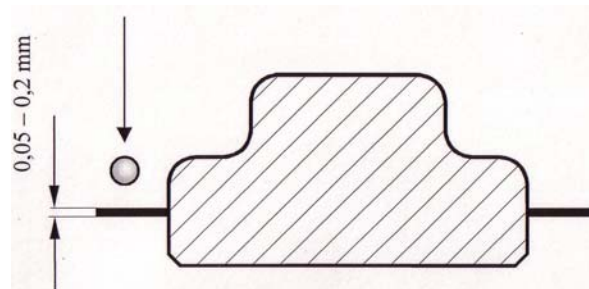


FIGURA 3.4. ESPESOR IDEAL DE LA REBABA

- **Exceso a Recortar**

El exceso a recortar tiene que ser por lo menos 1.5 veces del tamaño del medio fuera de la pieza. Debería haber una rotura en el exceso a recortar cada 2 cm / 1".

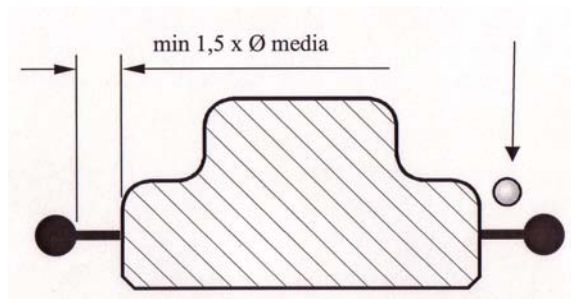


FIGURA 3.5. EXCESO A RECORTAR

- **Espesor del Pie de la Rebaba**

En este caso el Pie de la rebaba no puede ser removido por tener mucho espesor.

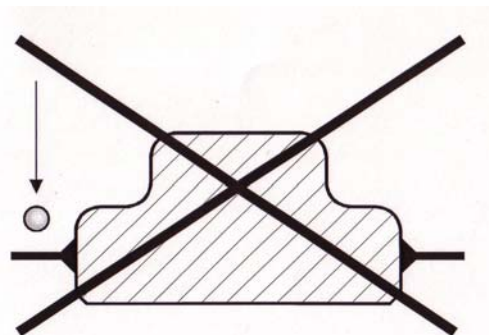


FIGURA 3.6. ESPESOR DE PIE DE LA REBABA

- **Espesor de la Pieza de Caucho**

La rebaba no debe ser tan espesa como la pieza. De lo contrario la pieza se romperá.

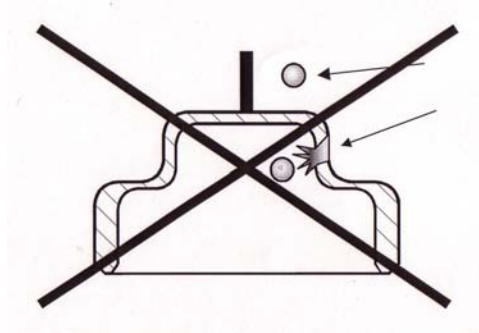


FIGURA 3.7. ESPESOR DE LA PIEZA DE CAUCHO

- **Posición de la Rebaba**

La rebaba demasiado cerca al cuerpo no tiene espacio para desprenderse de la pieza.

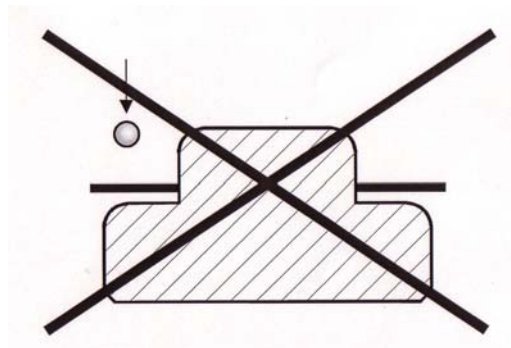


FIGURA 3.8. POSICIÓN DE REBABA ERRÓNEA

La rebaba necesita espacio para doblar y romper.

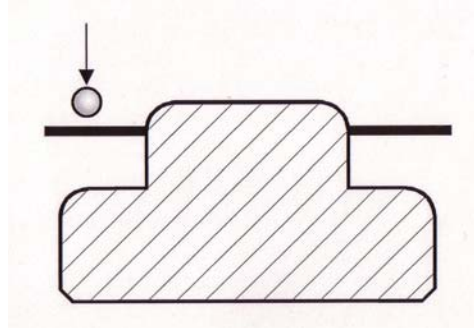


FIGURA 3.9. POSICIÓN DE REBABA CORRECTA

- **Rebaba en los Agujeros**

La rebaba en el centro de una perforación es dura/imposible de alcanzar.

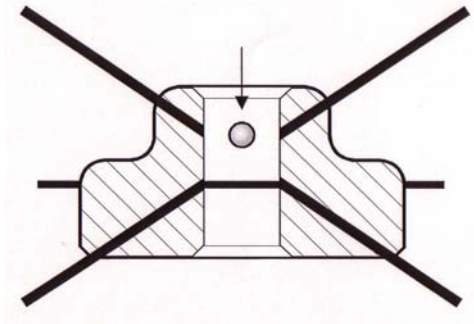


FIGURA 3.10. REBABA INTERNA

La rebaba localizada en un extremo de una perforación es fácil de alcanzar.

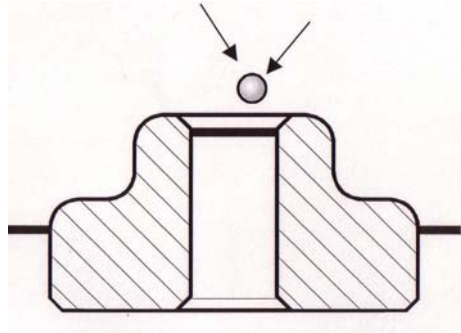


FIGURA 3.11. REBABA FÁCIL DE ALCANZAR

- **Canal / Agujero de Bolsillo**

Ser consiente del tamaño del medio.

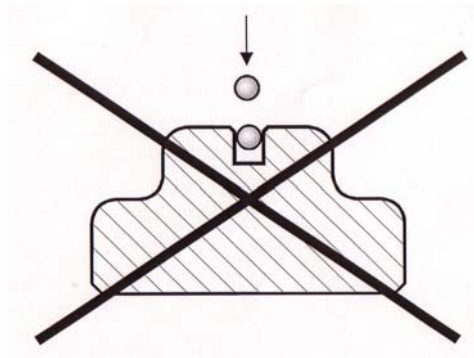


FIGURA 3.12. TAMAÑO DEL MEDIO ERRÓNEO

El medio tiene que ser más grande o más pequeño que el canal o agujero de bolsillo.

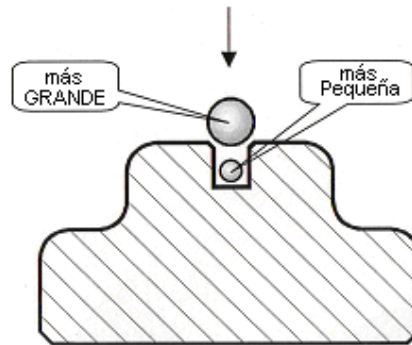


FIGURA 3.13. MEDIO PRECISO PARA CANAL

- **Bordes Afilados**

Los bordes afilados o esquinas pueden romper la pieza a la que se esta dando el acabado superficial.

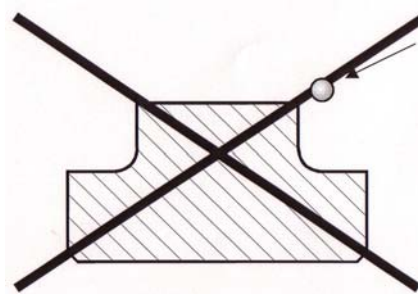


FIGURA 3.14. PIEZAS CON ESQUINAS

Forma afilada.

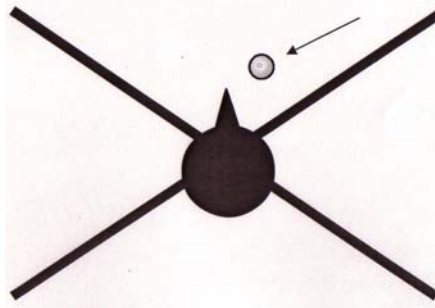


FIGURA 3.15. PIEZAS CON BORDES AFILADOS

- **Piezas Estructuradas**

Piezas espumosas. La superficie fina es fácil de dañar.

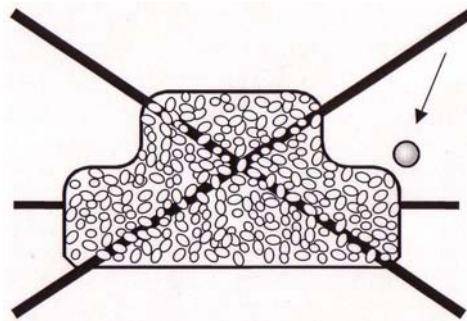


FIGURA 3.16. PIEZA ESPUMOSA

CAPITULO 4

4. DESCRIPCIÓN DE LA MÁQUINA

4.1 Introducción

La máquina a diseñar en este proyecto de tesis estará basada en la producción de una empresa ubicada en la ciudad de Guayaquil, la cuál se dedica a manufacturar piezas moldeadas de caucho de diferentes formas y tamaños, proponiendo de esta manera mejorar la eficiencia de su línea de producción.

La capacidad de la máquina será de 70 l y con un tiempo de trabajo de aproximadamente 30 min. Se utilizará como refrigerante nitrógeno líquido y como material de construcción acero inoxidable.

La máquina de desbarbado criogénico posee los siguientes componentes básicos:

1. Cuerpo
2. Árbol inyector
3. Rodamientos
4. Estructura de soporte
5. Cubeta de recolección
6. Motor

4.2 Descripción de los Componentes

- **Cuerpo**

El cuerpo es el componente principal de la máquina para desbarbado criogénico, porque es en este donde se lleva a cabo el proceso. La forma del cuerpo es prismática, teniendo como sección transversal un área hexagonal, consiguiendo de esta forma eficiencia al momento de desbarbar.

El cuerpo esta formado por un tambor construido de acero inoxidable con un espesor tal que resista las presiones y las temperaturas que en ella se puedan dar. Este tambor es recubierto por una capa de aislante térmico para mantener una temperatura

estable y conseguir un buen desbarbado con el espesor correcto.

El material del aislante puede ser espuma de poliuretano.

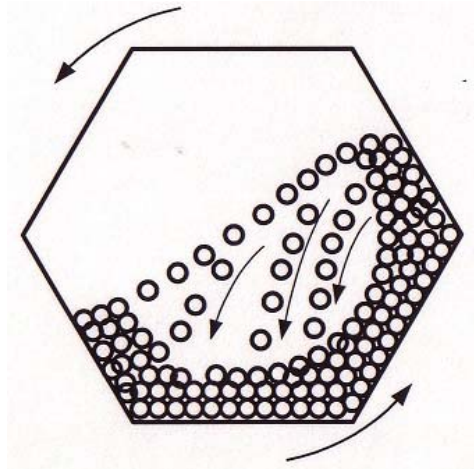


FIGURA 4.1. TAMBOR PARA DESBARBADO

Luego, se recubre el aislante con otra plancha de acero inoxidable para darle estabilidad al tambor con el espesor indicado para que las paredes no tiendan a flexarse debido a la presión interna que se produzca.

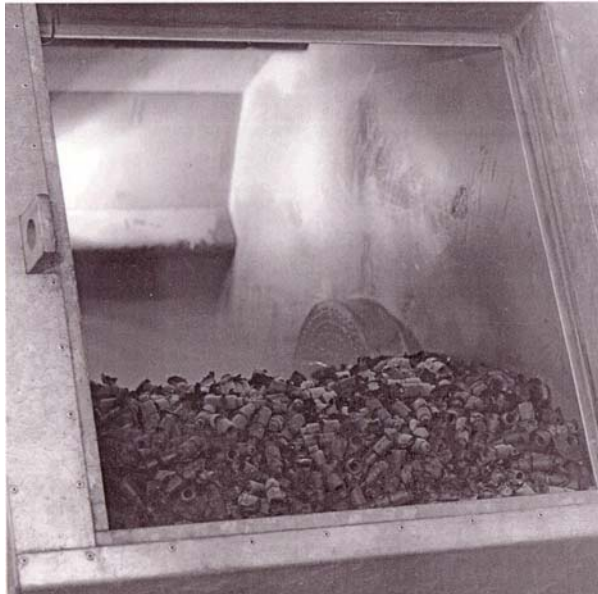


FIGURA 4.2. PIEZAS DESPUES DEL PROCESO DE DESBARBADO

El principio de funcionamiento del cuerpo es el siguiente:

1. Se ingresa manualmente los valores de temperatura y tiempo de trabajo en una base datos, los cuales sirven como parámetros de funcionamientos.
2. Se realiza manualmente la apertura de la tapa del cuerpo para cargar de piezas moldeadas de caucho a ser desbarbadas.
3. Una vez ingresadas las piezas de caucho, se cierra la tapa del cuerpo.

4. La temperatura interna del tambor es llevada a temperatura de trabajo mediante la inyección de nitrógeno líquido.
5. Se procede a darle movimiento de rotación al cuerpo durante el tiempo de trabajo requerido, consiguiendo que las piezas choquen unas contra otras, a la vez que se sigue inyectando el refrigerante de acuerdo a la temperatura interna de la cámara.
6. Una vez terminado el tiempo de desbarbado, se deja de inyectar nitrógeno al cuerpo a la vez que se apaga el motor que le da el movimiento de rotación al cuerpo.
7. Se despresuriza la cámara interna dejando escapar el nitrógeno gaseoso hasta que la temperatura interna manométrica sea igual a cero.
8. Finalmente, se realiza la apertura manual de la tapa del cuerpo para retirar las piezas desbarbadas criogénicamente y volver a colocar la tapa en la ubicación de cierre.

- **Árbol inyector**

El árbol inyector es un eje cilíndrico de acero inoxidable, mediante el cual el refrigerante líquido ingresa al tambor y a su vez sirve como purga del gas. Es decir, el árbol posee un agujero central en el que se transporta el nitrógeno líquido del acople de entrada

hasta el interior del tambor, el refrigerante se satura convirtiéndose en gas y después se escapa por otro agujero del eje cilíndrico.

Para conseguir esto el árbol inyector esta dividido en dos partes, ubicadas cada una en las dos caras laterales del prisma, sirviendo a su vez como apoyo del tambor. Una parte es por donde ingresa el nitrógeno y la otra es por donde sale. La parte del eje que sirve como entrada debe sobresalir por lo menos unos 2 cm dentro del tambor para poder refrigerar bien las piezas de caucho.

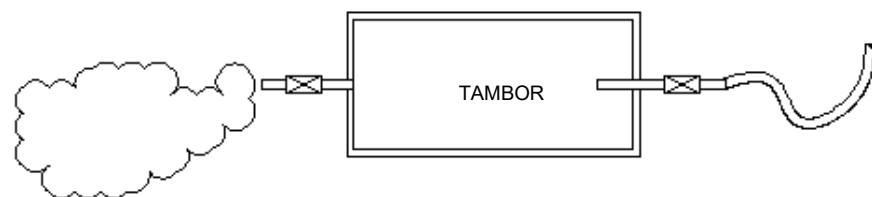


FIGURA 4.3. ESQUEMA DEL ARBOL INYECTOR

La otra parte del eje, es decir por donde purga el gas, debe tener en su agujero una malla que sirva como filtro y de esta forma asegurarse que solo salga gas y no alguna partícula de rebaba o a su vez piezas de caucho de tamaño pequeño que puedan salir con facilidad a través del agujero de escape. Preferiblemente la malla debería ir en el interior de la cámara de agitación.

- **Rodamientos**

El árbol inyector estará apoyado sobre dos rodamientos rígidos de bola de contacto angular, uno en cada parte del mismo, el cual podrá girar con facilidad. Las características que los rodamientos deben tener es que tengan gran resistencia a las fuerzas radiales, resistencia a las bajas temperaturas, ya que no debe haber problemas de enfriamiento del lubricante para que exista una buena rotación de los elementos rodantes, además deben ser de larga duración y de fácil mantenimiento.

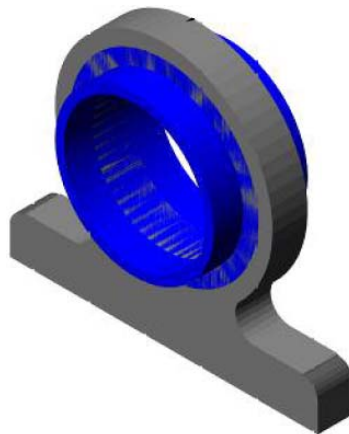


FIGURA 4.4. RODAMIENTO RIGIDO DE BOLAS

- **Estructura de soporte**

Todo el conjunto que conforma la máquina va a estar soportado por una estructura metálica, la cual va a someterse a fuerzas axiales y momentos, y a su vez debe resistir pequeñas vibraciones que se producen por el movimiento cíclico del tambor giratorio.

Los perfiles que se necesite para formar la estructura se seleccionará de acuerdo a su resistencia a la fluencia, con el factor de seguridad tal que garantice un buen diseño para un correcto funcionamiento de la maquinaria.

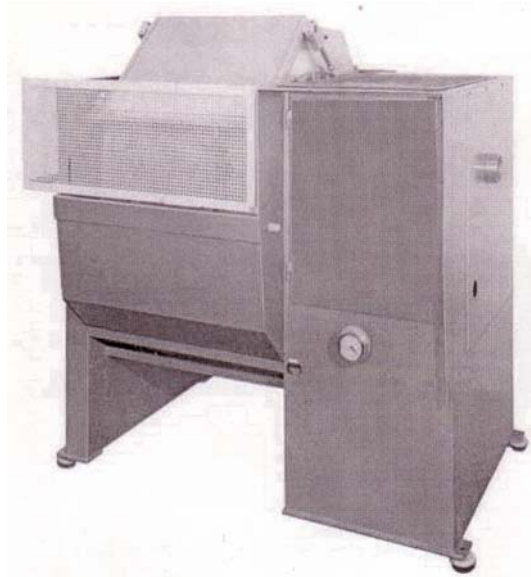


FIGURA 4.5. ESTRUCTURA DE SOPORTE DE LA MÁQUINA

En este proyecto de tesis se tratara de diseñar una estructura de soporte lo más simple posible para que su costo sea menor y la capacidad de movilización sea beneficiosa, es decir de poco peso.

- **Cubeta de recolección**

Después del proceso de acabado de las piezas de caucho, estas se recolectan en una cubeta metálica, en la cual se separa las piezas, del escombros de rebabas que se producen, además de los medios sólidos que facilitan el trabajo de desbarbado mediante una malla fina.

La cubeta metálica será diseñada de tal forma que sea de fácil manejo para el operador de la maquina. La forma de la cubeta será cúbica, con cuatro ruedas en la parte inferior para su movilización, además de un mango para el manejo por parte del operador. El material de construcción de la misma será de acero inoxidable. El volumen de contención debe ser mayor a la capacidad de la máquina.

- **Motor**

A menos que se opere manualmente, la máquina requerirá algún dispositivo impulsor para proporcionar el movimiento y energía de entrada. Hay muchas posibilidades; si se requiere un movimiento

rotatorio continuo de entrada, entonces un motor es la opción más lógica.

Para la máquina a diseñar se empleará un motor eléctrico que cumpla con los requerimientos de potencia y velocidad y de esta manera realizar un buen proceso de acabado.



FIGURA 4.6. MOTOR ELÉCTRICO

Se puede emplear un dispositivo de poleas para lograr reducir la velocidad del motor al cual estaría acoplado y conseguir el giro apropiado del tambor, o simplemente se puede utilizar un motor eléctrico con variador de velocidad. Su elección será de acuerdo a la conveniencia económica del usuario de la máquina y de sus capacidades de transmisión.

4.3 El Nitrógeno Líquido como Refrigerante Criogénico

Para realizar un proceso de desbarbado criogénico es necesario utilizar un refrigerante lo suficientemente eficiente como para fragilizar las rebabas que se producen en el proceso de moldeo de las piezas de caucho, pero sin afectar la calidad de la pieza. Se conoce dos refrigerantes muy usados en el proceso de desbarbado criogénico que son el nitrógeno líquido (LIN) y el dióxido de carbono (CO₂), siendo el más eficiente el nitrógeno líquido ya que alcanza temperaturas más bajas, por lo cual se selecciona como refrigerante de trabajo para la máquina a diseñar. A continuación se explica brevemente las características del LIN, para probar su eficiencia para el uso en el acabado superficial.

4.3.1 Descripción

El nitrógeno constituye la mayor porción de la atmósfera (78.03 por ciento por volumen, 75.5 por ciento por peso). Es incoloro, inodoro, insípido, no es tóxico, es casi totalmente un gas inerte, y es incoloro como líquido. El nitrógeno es no inflamable, no apoya la combustión, y no es un medio para vivir. Se combina con algunos de los metales más activos, como el litio y el magnesio, para formar los nitruros, y a temperaturas altas se combinará también con el hidrógeno, oxígeno, y otros

elementos. Es usado como protección inerte contra la contaminación atmosférica en muchas aplicaciones de soldadura. El nitrógeno es sólo ligeramente soluble en el agua y en la mayoría de los otros líquidos, y es conductor pobre de calor y electricidad. Como líquido a temperaturas criogénicas, es no magnético. Se transporta como gas no licuado a presiones de 2000 psig (13790 KPa) o debajo, y también como un fluido criogénico a presiones debajo de 200 psig (1379 KPa).

4.3.2 Aplicaciones

El nitrógeno tiene muchas aplicaciones comerciales y técnicas. Como un gas, se usa en:

- Tratamiento térmico de metales primarios;
- Como atmósfera para cubrir líquidos sensibles al oxígeno y de químicos líquidos volátiles;
- La producción de componentes electrónicos semiconductores, como una atmósfera cobertora;
- El soplado de tipos de espumas plásticas;
- La desaireación de líquidos sensibles al oxígeno;
- La desgasificación de metales no ferrosos;

- Procesamiento y empaquetamiento de comida;
- La inhibición del crecimiento de la bacteria aeróbica;
- La reducción del magnesio en piezas de aluminio; y
- La propulsión de líquidos a través de las tuberías.

El nitrógeno gaseoso también se usa en:

- Presurización de las llantas del avión y las botellas de emergencias para operar el tren de aterrizaje;
- Purga, en el cordón de soldadura de tuberías de cobre para sistemas de aire acondicionado y refrigeración;
- Purga y llenado de dispositivos electrónicos;
- Purga, llenado y prueba de cables de compresión de alto-voltaje;
- Purga y prueba de tuberías y los instrumentos relacionados;
- Tratamiento de resinas en la industria de la pintura.

El nitrógeno líquido también tiene un gran número de usos, entre ellos:

- La congelación de comidas muy perecederas, como el langostino, hamburguesas y pollo;
- El desbarbado de piezas de caucho o plásticas;

- Enfriamiento del hormigón;
- La captura del frío de materiales como el gas anhídrido carbónico (es comúnmente empleado de esta manera en sistemas que producen alto vacío).
- Se usa como un refrigerante para el equipo electrónico, para pulverizar plásticos, y para simular las condiciones del espacio exterior.

Otras maneras en que el nitrógeno líquido se emplea incluyen:

- Creación de una muy alta presión de nitrógeno gaseoso (15000 psig; 103421 kPa) a través del bombeo de nitrógeno líquido;
- En la comida y pulverización del químico;
- En la congelación de líquidos en tuberías para reparaciones de emergencia;
- En la estabilización de bajas temperaturas y endurecimiento de metales;
- Para la investigación en bajas temperaturas;
- Para alivio de tensiones a bajas temperaturas de aleaciones de aluminio;
- Para la preservación de sangre entera, esperma del ganado, y otras sustancias biológicas;
- Para refrigeración de comidas en los recorridos de larga distancia, así como en la entrega local;

- Para refrigeración de protección de hidrógeno líquido, helio y neón;
- Para la remoción de manchas superficiales en la dermatología; y
- Para la contracción de piezas de metal para el montaje.

4.3.3 Efectos Fisiológicos

El nitrógeno es no tóxico y principalmente inerte. Puede actuar como un simple asfixiante por la dilución de la concentración de oxígeno en el aire debajo de los niveles necesarios para la vida. La inhalación de nitrógeno en concentraciones excesivas puede producir vértigo, náuseas, vomito, pérdida de la conciencia y la muerte. La muerte puede ser el resultado de los errores en el juicio, confusión, o pérdida de la conciencia que previene el mismo rescate. A bajas concentraciones de oxígeno, la inconsciencia y muerte pueden ocurrir en segundos sin advertencia.

El nitrógeno gaseoso debe manejarse con todas las precauciones necesarias para la seguridad con cualquier gas comprimido no inflamable y no tóxico.

Con el nitrógeno líquido deben tomarse todas las precauciones necesarias para el manejo seguro de cualquier gas licuado a

temperaturas muy bajas. La exposición al nitrógeno líquido o los vapores de nitrógeno frío producen el daño del tejido o quemaduras.

4.4 Material de Construcción: Acero Inoxidable

- **Descripción**

Los Aceros Inoxidables son una gama de aleaciones que contienen un mínimo de 11% de Cromo. El Cromo forma en la superficie del acero una película pasivante, extremadamente delgada, continua y estable. Esta película deja la superficie inerte a las reacciones químicas. Esta es la característica principal de resistencia a la corrosión de los aceros inoxidable.



FIGURA 4.7. COMPONENTES DEL ACERO INOXIDABLE

- **Características principales del acero inoxidable**

1. Resistencia a la corrosión
2. Resistencia mecánica superior a los aceros de bajo carbono;
3. Facilidad de limpieza / baja rugosidad superficial;
4. Apariencia higiénica;
5. Material inerte: no altera el color, el gusto o el olor de los alimentos;
6. Facilidad de conformación;
7. Facilidad de soldadura / aleación;
8. Mantiene sus propiedades dentro de una franja muy amplia de temperatura, incluso en temperaturas muy bajas (criogénicas);
9. Acabados superficiales variados;
10. Visualmente atractivo (modernidad, ligereza y prestigio);
11. Relación costo / beneficio muy favorable;
12. Bajo costo de mantenimiento;
13. Material 100% reciclable.

- **Clasificación de los aceros**

Serie 400

Los Aceros Inoxidables Martensíticos son la primera rama de los aceros inoxidable, llamados simplemente al Cromo y fueron los primeros desarrollados industrialmente (aplicados en cuchillería).

Tienen un contenido de Carbono relativamente alto de 0.2 a 1.2% y de Cromo de 12 a 18%. Los tipos más comunes son el AISI 410, 420 y 431. Las propiedades básicas son: Elevada dureza (se puede incrementar por tratamiento térmico) y gran facilidad de maquinado, resistencia a la corrosión moderada. Principales aplicaciones: Ejes, flechas, instrumental quirúrgico y cuchillería.

Los Aceros Inoxidables Ferríticos también se consideran simplemente al Cromo, su contenido varia de 12 a 18%, pero el contenido de Carbono es bajo $<0.2\%$. Los tipos más comunes son el AISI 430, 409 y 434. Las propiedades básicas son: Buena resistencia a la corrosión. La dureza no es muy alta y no pueden incrementarla por tratamiento térmico. Principales aplicaciones: Equipo y utensilios domésticos y en aplicaciones arquitectónicas y decorativas.

Serie 300

Los Aceros Inoxidables Austeníticos son los más utilizados por su amplia variedad de propiedades, se obtienen agregando Níquel a la aleación, por lo que la estructura cristalina del material se transforma en austenita y de aquí adquieren el nombre. El contenido de Cromo varía de 16 a 28%, el de Níquel de 3.5 a 22% y el de Molibdeno 1.5 a 6%. Los tipos más comunes son el AISI 304, 304L, 316, 316L, 310 y 317. Las propiedades básicas son: Excelente resistencia a la

corrosión, excelente factor de higiene-limpieza, fáciles de transformar, excelente soldabilidad, no se endurecen por tratamiento térmico, se pueden utilizar tanto a temperaturas criogénicas como a elevadas temperaturas. Principales aplicaciones: Utensilios y equipo para uso doméstico, hospitalario y en la industria alimenticia, tanques, tuberías, etc.

CAPITULO 5

5. DISEÑO Y SELECCIÓN DE LOS COMPONENTES DE LA MÁQUINA

5.1 Diseño del Cuerpo

El cuerpo de la máquina está formada por 4 partes principales: el tambor que es la parte interna, el aislamiento que sería la parte intermedia, la capa externa y la puerta de acceso del material.

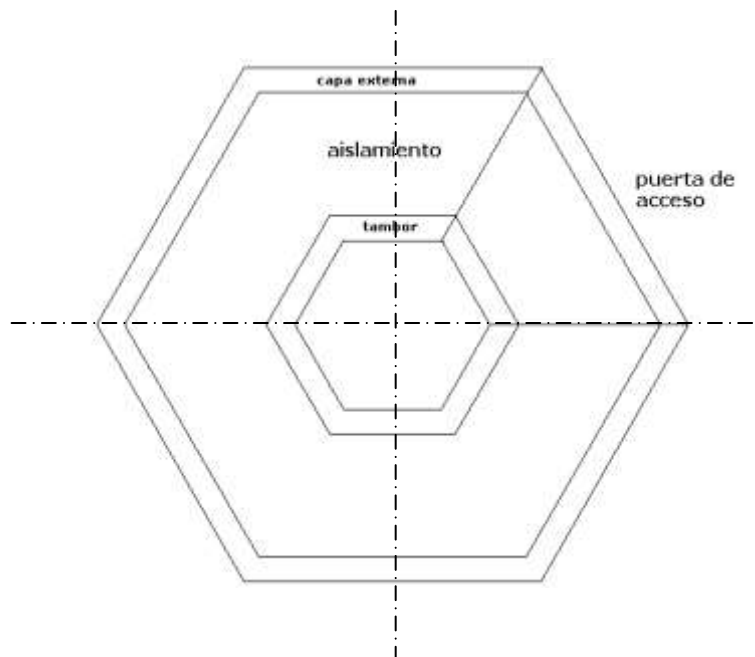


FIGURA 5.1. PARTES CONSTITUTIVAS DEL CUERPO

Tambor

El diseño del tambor de la máquina desbarbadora criogénica tendrá dos parámetros importantes a considerar que son la presión y la temperatura. El diseño se basará según la norma ASME VIII ADD 2003 parte ULT para recipientes a presión que trabajan a baja temperatura que se encuentra en el apéndice C.

La presión ideal de trabajo de la máquina debe ser de 1.7 a 2.4 bar. La presión máxima debe ser de 3.5 bar y la temperatura mínima de 143 K (-130 °C) (3).

La máquina tendrá un volumen interno de 70 l trabajando a la mitad de su capacidad, es decir un máximo de 35 l, considerando este valor como parámetro principal para determinar los valores geométricos de radio y longitud de la máquina, teniendo como sección transversal una forma hexagonal.

$$V_T = \text{AREA} \times \text{LONGITUD}$$

$$V_T = 6 * \frac{r * h}{2} * L$$

$$V_T = 6 * \frac{r * r \cos 30}{2} * L$$

$$V_T = 3 * \cos 30 * r^2 * L \quad (1)$$

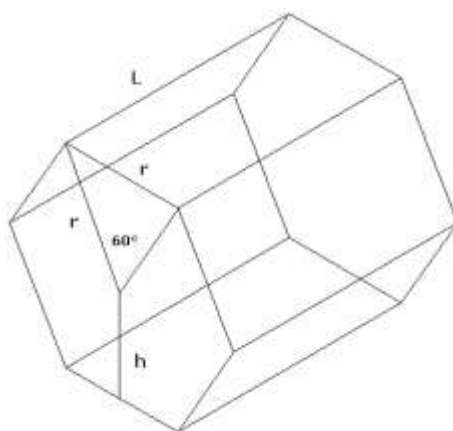


FIGURA 5.2. GEOMETRIA DEL TAMBOR

Como se puede ver en la fórmula, para determinar un valor es necesario definir dos valores más, ya sea el volumen, el radio o la longitud de la geometría. El volumen ya es conocido (70 l) pero el radio y la longitud no, para esto se debe determinar una relación L/r ideal tal que se optimice la geometría de la máquina y que en funcionamiento realice un desbarbado completo. Se debe considerar que la geometría no efectúe algún atascamiento entre las piezas y perjudique el golpeteo entre ellas que es la base para conseguir un buen desbarbado o también que exista poca caída de las mismas. Para esto se realiza una tabla con posibles relaciones L/r para reemplazarlos en la fórmula anterior y determinar así los valores de radio y longitud y altura óptimos.

TABLA 2

POSIBLES RELACIONES L/r PARA DETERMINAR RADIO, LONGITUD Y ALTURA

L/r	r (m)	L (m)	h (m)
5	0,175	0,876	0,152
4	0,189	0,755	0,163
3	0,208	0,624	0,180
2	0,238	0,476	0,206
1	0,299	0,299	0,259

Se realiza graficas con los valores conseguidos en la tabla anterior útiles para determinar cual sería el radio, la longitud y altura optima.

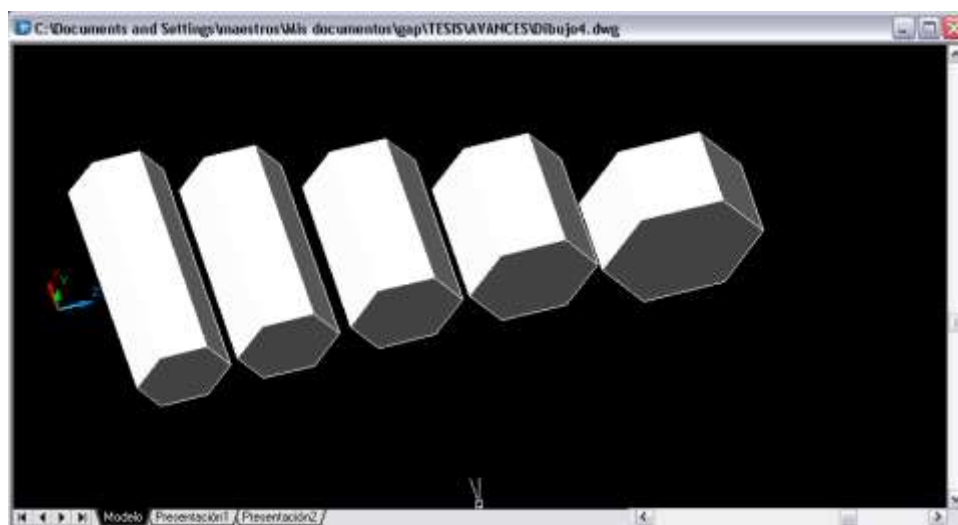


FIGURA 5.3. GRAFICOS DE LAS DISTINTAS MEDIDAS OBTENIDAS

Como se puede observar en la gráfica, la geometría mas optima es la que se consigue con la relación $L/r = 2$. Por lo tanto:

TABLA 3

MEDIDAS DE RADIO, LONGITUD Y ALTURA IDEALES

L/r	r (m)	L (m)	h (m)
2	0,238	0,476	0,206

Para realizar el diseño de un cuerpo cuya sección transversal es un hexágono no existe formula alguna, pero si existe para diseñar cuerpos cilíndricos. Como se puede notar un círculo esta formado por infinitos lados cuya medida en infinitesimal, por lo que para el diseño de este tambor se determinara el valor de radio de un círculo (r_c) cuya área sea igual al área del hexágono con los parámetros r y h de la tabla anterior. Para ello el volumen y la longitud del cilindro deben ser igual al del tambor para que el área sea igual, a partir de esto tenemos:

$$V_C = V_T$$

$$V_C = \pi * r_C^2 * L \quad (2)$$

$$V_C = 0.07 \text{ m}^3$$

$$L = 0.476 \text{ m}$$

$$r_C = 0.216 \text{ m}$$

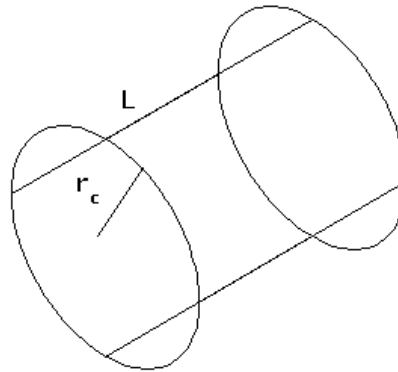


FIGURA 5.4. GEOMETRIA DEL CILINDRO DE DISEÑO

Los recipientes cilíndricos que resisten carga de presión interna alta, están sometidos a esfuerzos tangencial (σ_T) y axial (σ_A) los cuales están en función del espesor del recipiente (6).

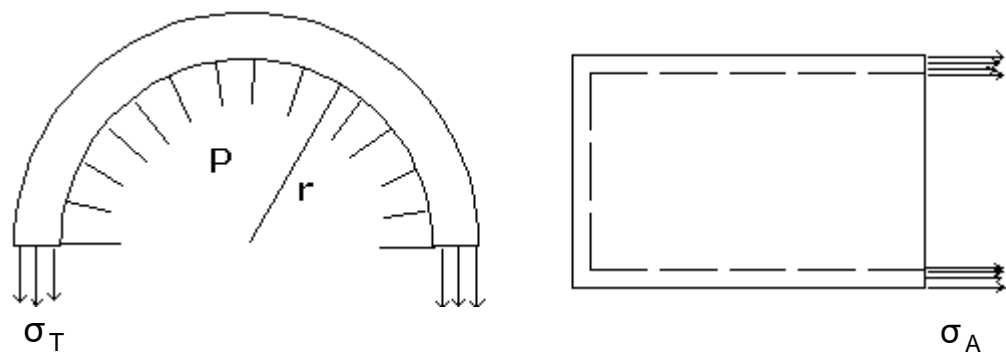


FIGURA 5.5. CORTES TRANSVERSALES DEL CILINDRO

$$\sigma_T = \frac{P \cdot r}{e} \quad (3)$$

$$\sigma_A = \frac{P \cdot r}{2 \cdot e} \quad (4)$$

Donde:

P: presión

r : radio

e : espesor

La norma ASME VIII ADD 2003 parte ULT sirve como regla de diseño de recipientes a presión que funcionan a bajas temperatura con fluido criogénico como el nitrógeno del apéndice C, el cual pone en manifiesto que para el cálculo del espesor de pared del recipiente no solo se considera la presión como en el caso de la fórmula anterior sino que también hay que considerar el efecto que tiene la temperatura sobre el material de construcción, para el cual enseña una tabla de resistencia en función de la temperatura para diferentes materiales, entre ellos el acero inoxidable tipo 304 (Tabla ULT-23, apéndice C) que es material de interés para la máquina. Interpolando los valores dados en dicha tabla para la temperatura mínima de trabajo de la máquina desbarbadora se determina lo siguiente:

TABLA 4

RESISTENCIA DE DISEÑO A TEMPERATURA DE -130 °C

Material	Resistencia de diseño (MPa)	Temperatura (°C)
SS 304	138.07	-130

Para el diseño del tambor se tomara como presión $P = 810400 \text{ Pa}$ y el radio del cilindro $r_c = 0.216 \text{ m}$ encontrado anteriormente además de darle un factor de seguridad $\eta = 3$ (7). Entonces:

$$\eta = \frac{S_T}{\sigma_T} \quad (5)$$

$$3 = \frac{138.07 * 10^6}{810400 * 0.216 e}$$

$$e = 0.00381 \text{ m}$$

$$e = 3.81 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow e \approx 4 \text{ mm}$$

Capa externa

En el diseño de la capa exterior solo se considera la misma presión interna $P = 810400 \text{ MPa}$ y el radio de cilindro $r_c = 0.21638 \text{ m}$. Los valores de resistencia varía al anterior siendo el indicado para el acero inoxidable tipo 304: $S_y = 215.6 \text{ MPa}$ y $S_{ut} = 509.6 \text{ MPa}$. Suponemos de nuevo un factor de seguridad $\eta = 3$ (7). Mediante esta forma se busca una resistencia al impacto elevada y rigidez del sistema.

$$\eta = \frac{S_T}{\sigma_T}$$

$$3 = \frac{215.07 * 10^6}{\frac{810400 * 0.216}{e}}$$

$$e = 0.00244 \text{ m}$$

$$e = 2.44 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow e \approx 2.5 \text{ mm}$$

Aislamiento

El material del aislamiento como se dijo anteriormente es espuma de poliuretano aplicado in situ cuyo valor de conductividad térmica es $K = 2 \text{ W/m}^\circ\text{K}$ (8). Así mismo se determinó que la temperatura interior mínima de trabajo será $T_i = -130 \text{ }^\circ\text{C}$. Como en el caso del diseño del tambor también se considera a nuestra máquina con una forma cilíndrica conservando el mismo radio encontrado r_c . Suponemos una temperatura externa ambiental de $27 \text{ }^\circ\text{C}$. La velocidad de giro de la máquina será de 60 R.P.M.

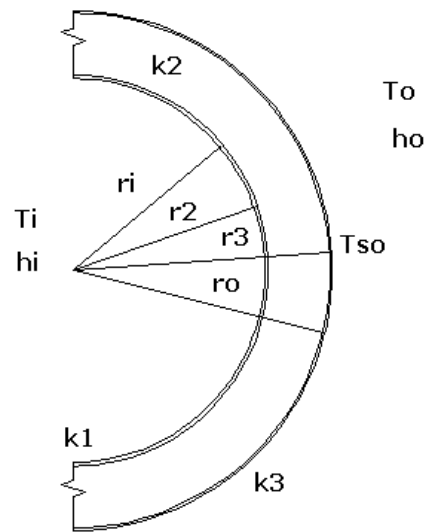


FIGURA 5.6. CORTE DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL DEL CILINDRO

Siendo:

Acero Inoxidable Austenítico; $K_1 = K_3 = 16.3 \text{ W/m}^\circ\text{K}$ (9)

Espuma poliuretano; $K_2 = 0.023 \text{ W/m}^\circ\text{K}$ (8)

Temperatura interior; $T_i = 143 \text{ }^\circ\text{K}$

Temperatura exterior; $T_o = 300 \text{ }^\circ\text{K}$

Radio interior; $r_i = 0.216 \text{ m}$

Radio dos; $r_2 = 0.220 \text{ m}$

Para encontrar el espesor del aislamiento se debe realizar una analogía eléctrica (9).



$$\dot{Q} = U * A * \Delta T \quad (6)$$

En la analogía eléctrica la corriente sería el calor que se transmite, y como en un circuito eléctrico en serie la corriente y la transmisión de calor es el mismo. Por lo tanto:

$$\frac{T_i - T_o}{\frac{1}{r_i * h_i} + \frac{1}{K_1} \ln \frac{r_2}{r_1} + \frac{1}{K_2} \ln \frac{r_3}{r_2} + \frac{1}{K_3} \ln \frac{r_o}{r_3} + \frac{1}{r_o * h_o}} = \frac{T_{so} - T_o}{\frac{1}{r_o * h_o}}$$

$$h_o = \frac{T_i - T_{so}}{T_{so} - T_o} * \frac{1}{\frac{r_o}{r_i * h_i} + \frac{r_o}{K_1} \ln \frac{r_2}{r_1} + \frac{r_o}{K_2} \ln \frac{r_3}{r_2} + \frac{r_o}{K_3} \ln \frac{r_o}{r_3}} \quad (7)$$

Como se puede observar en la fórmula existen algunos términos que se necesitan conocer para poder determinar el espesor del aislamiento tales como \$h_o\$, \$T_{so}\$ y \$h_i\$. Para esto es necesario encontrar el valor de dichos parámetros mediante alguna correlación de transferencia de calor de acuerdo a las condiciones de funcionamiento del sistema, además de realizar diferentes iteraciones.

Existe una correlación en transferencia de calor para convección en superficie giratoria cilíndrica encontrado en un texto bibliográfico (9), el cual es:

$$\overline{Nu}_d = 0.133 * Re_d^{2/3} * Pr^{1/3}; \frac{Re_d < 4.3 * 10^5}{0.7 < Pr < 670} \quad (8)$$

$$Re_d = \frac{\omega * d^2}{\nu} \quad (9)$$

Podemos usar esta correlación para encontrar el coeficiente convectivo interno h_i reemplazando los valores apropiados en la ecuación, por eso se tiene:

Gas; N_2

Temperatura interna; $T_i = 143 \text{ } ^\circ K$

Velocidad angular; $\omega = 6.2832 \text{ Rad. /seg.}$

Prandalt; $Pr = 0.786$ (9)

Viscosidad cinemática; $\nu = 4.378 * 10^{-6} \text{ m}^2/\text{seg.}$ (9)

Conductividad térmica; $K = 0.013229 \text{ W/m } ^\circ K$ (9)

$$Re_d = \frac{6.2832 * 0.43276^2}{4.378 * 10^{-6}}$$

$$Re_d = 2.687814 * 10^{-5}$$

$$\overline{Nu}_d = 0.133 * (2.687814 * 10^{-5})^{2/3} * (0.786)^{1/3}$$

$$\overline{Nu}_d = 511.2014$$

$$h_i = \frac{\overline{Nu}_d * K}{d}$$

$$h_i = \frac{511.2014 * 0.013229}{0.43276}$$

$$h_i = 15.627 \text{ W/m}^2\text{°K}$$

Una vez encontrado unos de los términos adecuados para encontrar el espesor, se necesita hacer un artificio matemático de prueba y error para encontrar los valores del resto de términos T_{so} y h_i .

Utilizaremos la misma correlación pero con valores diferentes a reemplazar, los cuales son los siguientes:

Gas; Aire

Temperatura externa; $T_o = 300 \text{ °K}$

Velocidad angular; $\omega = 6.2832 \text{ Rad./seg.}$

Prandalt; $Pr = 0.708$ (9)

Viscosidad cinemática; $\nu = 16.84 * 10^{-6} \text{ m}^2/\text{seg.}$ (9)

Conductividad térmica; $K = 0.0262 \text{ W/m °K}$ (9)

$$h_o = \frac{T_i - T_{so}}{T_{so} - T_o} * \frac{1}{\frac{r_o}{r_i * h_i} + \frac{r_o}{K_1} \ln \frac{r_2}{r_i} + \frac{r_o}{K_2} \ln \frac{r_3}{r_2} + \frac{r_o}{K_3} \ln \frac{r_o}{r_3}}$$

Mediante el programa de computadora Excel podemos iterar más fácilmente y junto con la correlación adecuada realizar una tabla de conclusiones consiguiendo de esta forma dibujar una curva que nos permitirá escoger el valor adecuado de espesor de aislamiento en función de la temperatura superficial externa (T_{so}).

La forma de iteración es la siguiente:

- 1) Arbitrariamente se determina un valor de espesor de aislamiento encontrando así r_3 y r_o de acuerdo al espesor de capa externa ya encontrada anteriormente.
- 2) Luego, así mismo se escoge un valor de temperatura superficial aproximado.
- 3) Se reemplaza todos los valores necesarios en la ecuación anterior y se encuentra h_o .
- 4) Luego se calcula el Re_d externo y el Nu_d externo para de esta forma encontrar el radio externo resultante r_o . El valor de este radio debe ser igual al radio externo que se determino en el paso 1).
- 5) Si los valores son iguales se haya el valor correcto de temperatura superficial para el espesor escogido, sino se vuelve al paso 2) hasta que los valores de radio r_o coincidan

Luego de reemplazar los valores y realizarse las iteraciones correspondientes, se hizo la siguiente tabla:

TABLA 5
ESPESOR Y TEMPERATURA SUPERFICIAL EXTERNA
OBTENIDOS

e (m)	r ₂ (m)	r _o (m)	T _{so} (°K)	h _o (W/m ² °K)	Re _d	Nu _d	r _o (m)
0.05	0.270	0.273	279.519	2.6585	26701.38	109.65	0.273
0.06	0.280	0.283	282.926	2.6906	28694.84	115.04	0.283
0.07	0.290	0.293	285.461	2.7220	30760.06	120.49	0.293
0.08	0.300	0.303	287.414	2.7525	32897.04	126.01	0.303
0.09	0.310	0.313	288.961	2.7826	35105.77	131.59	0.313
0.10	0.320	0.323	290.212	2.8118	37386.27	137.23	0.323

A partir de esta tabla podemos dibujar una grafica aislamiento vs. Temperatura superficial externa, de donde se puede seleccionar el espesor adecuado:

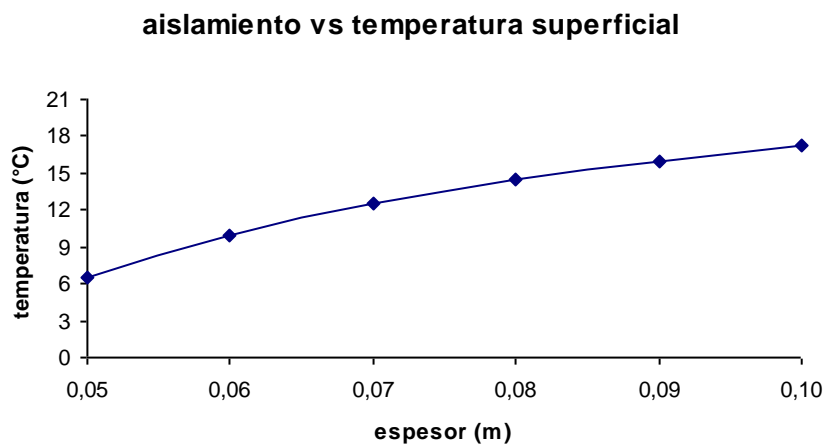


FIGURA 5.7. AISLAMIENTO VS TEMPERATURA SUPERFICIAL

De la grafica podemos determinar que el espesor de aislamiento apropiado para la máquina es **$e = 7 \text{ cm}$** .

Puerta de acceso

La puerta de acceso de material estará ubicada en uno de los lados del hexágono, y tendrá como seguro seis pernos de ajuste dando mayor seguridad de cierre a la máquina y de esta forma pueda resistir la presión interna. El diseño de forma de la tapa es el siguiente:

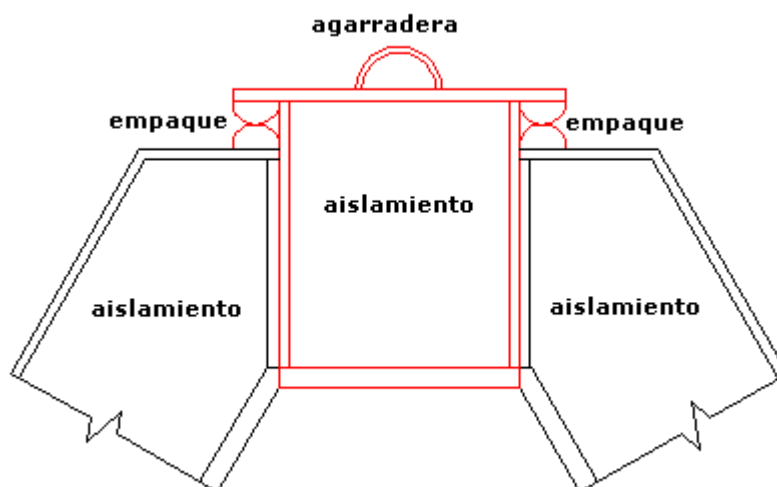


FIGURA 5.8. SECCIÓN TRANSVERSAL DERECHA DE LA TAPA

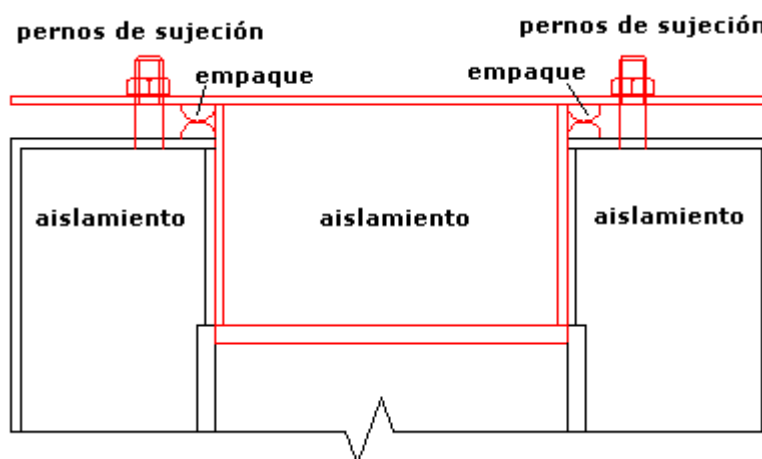


FIGURA 5.9. SECCIÓN TRANSVERSAL FRONTAL DE LA TAPA

De la grafica se puede observar que la tapa es la parte dibujada con rojo, diferenciándose del resto de la máquina, y tiene un empaque que rodea la entrada de 2*2 cm, igual a que se encuentra en una refrigeradora común. El diseño de la misma consta ahora saber

seleccionar los pernos adecuados para mantener cerrada la tapa, mediante los cálculos apropiados.

La resistencia interna es la presión de 8 bares. Esta presión ejerce una fuerza normal a la cara inferior de la tapa, la cual se transmite a los seis pernos de sujeción dividiéndose en seis partes iguales.

$$\text{Fuerza} = \text{presión} * \text{área}$$

$$\text{Area} = \text{lado hexágono interno} * \text{longitud hexágono interno}$$

$$F = P * r * L \quad (10)$$

$$F = 810400 * 0.238 * 0.476$$

$$F = 91762.311 \text{ N}$$

$$\# \text{pernos} = 6$$

$$F_p = F / 6 \quad (11)$$

$$F_p = 91762.311 / 6$$

$$F_p = 15293.7185 \text{ N}$$

De la Tabla 14-1 del apéndice D y la Tabla 14-6 del apéndice E se selecciona un perno que posiblemente sea el indicado para resistir dicha carga. Se selecciona el perno ½-13UNC-2A SAE 5.2 el cual tiene las siguientes características:

TABLA 6

CARACTERISTICAS DEL PERNO SELECCIONADO

Material	D (pulg)	Hilos *pulg	A _t (pulg ²)	S _p (psi)	S _y (psi)	L _{rosca} (pulg)	L _{vastago} (pulg)
Martensita de bajo carbono, templado y revenido	0.5	13	0.1419	85000	92000	1	0.5

Los pasos para diseñar son los siguientes (7):

- 1) Se calcula la precarga a soportar los pernos:

$$F_i = 0.9 * S_p * A_t \quad (12)$$

$$F_i = 0.9 * 85000 * 0.1419 * 4.448$$

$$F_i = 48284.5968 \text{ N}$$

- 2) Se determina la longitud de rosca que esta en la zona de sujeción:

$$l_t = (0.84646 - 0.5) * 0.0254 \quad (13)$$

$$l_t = 0.0088 \text{ m}$$

- 3) Se calcula la rigidez del perno a partir de la siguiente ecuación:

$$\frac{1}{k_b} = \frac{I_t}{A_t * E} + \frac{I_{v \text{ astago}}}{A_b * E} \quad (14)$$

$$\frac{1}{k_b} = \left(\frac{0.34646}{0.1419 * (30 * 10^6)} + \frac{0.5 * 4}{\pi * 0.5^2 * (30 * 10^6)} \right) * \frac{0.0254}{4.448}$$

$$k_b = 1053.16 * 10^6 \text{ N/m}$$

- 4) En el cálculo de la rigidez del material se utiliza la siguiente formula al igual que la Tabla 14-9a del apéndice F:

$$k_m = d * E * A * e^{b(d/l)} \quad (15)$$

$$k_m = (0.5 * (30 * 10^6)) * 0.78715 * e^{0.62873(0.5/0.84646)} * \frac{0.0254}{4.448}$$

$$k_m = 2997.487 * 10^6 \text{ N/m}$$

- 5) Ahora se calcula el factor de rigidez con la siguiente ecuación:

$$C = \frac{k_b}{k_m + k_b} \quad (16)$$

$$C = \frac{1053.16 * 10^6}{2997.487 * 10^6 + 1053.16 * 10^6}$$

$$C = 0.259$$

$$(1-C)=0.741$$

- 6) Las porciones de la carga aplicada F_p que ven el perno y el material pueden determinarse ahora, a partir de las siguientes ecuaciones:

$$P_b = C * F_p \quad (17)$$

$$P_m = (1-C)*F_p \quad (18)$$

$$P_b = 0.259 * 3438.336 * 4.448$$

$$p_b = 3961.077 \text{ N}$$

$$p_m = 0.741 * 3438.336 * 4.448$$

$$p_m = 11332.61 \text{ N}$$

- 7) Se puede encontrar ahora las cargas resultantes tanto para el perno como para el material una vez aplicada la carga F_p .

$$F_b = F_i + P_b \quad (19)$$

$$F_m = F_i - P_m \quad (20)$$

$$F_b = (10855.35 + 890.53) * 4.448$$

$$F_b = 52245.67 \text{ N}$$

$$F_m = (10855.35 - 2547.80) * 4.448$$

$$F_m = 36951.98 \text{ N}$$

- 8) Se determina el esfuerzo máximo de tensión en el perno:

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_t} \quad (21)$$

$$\sigma_b = \frac{11745.879}{0.1419} * 6894.8$$

$$\sigma_b = 570.722 \text{ MPa}$$

- 9) Dependiendo del factor de seguridad a calcularse se determina si fue correcta o no la elección del perno

$$\eta = \frac{S_y}{\sigma_b}$$

$$\eta = \frac{92000}{82775.75}$$

$$\eta = 1.1$$

Se demuestra de esta forma que la elección fue la indicada para este tipo de carga y funcionamiento.

5.2 Diseño del Árbol Inyector

Para diseñar el árbol inyector primero se debe determinar cual es la carga a resistir, que en este caso sería el peso total del cuerpo junto con el peso del material de caucho a ser desbarbado.

- Cálculo del peso del tambor:

$$V_{\text{ParedCilindro}} = 2290993.678 \text{ mm}^3$$

$$V_{\text{ParedesLaterales}} = 1222857.782 \text{ mm}^3$$

$$V_{\text{Tambor}} = V_{\text{ParedCilindro}} + V_{\text{ParedesLaterales}} \quad (22)$$

$$V_{\text{Tambor}} = 3513851.46 \text{ mm}^3$$

$$\text{Peso}_{\text{Tambor}} = V_{\text{Tambor}} \times \gamma_{\text{Inox}} \quad (23)$$

$$\text{Peso}_{\text{Tambor}} = (3513851.46 \text{ mm}^3 \times 7.92 \times 10^{-6} \text{ Kg/mm}^3) \times 9.8$$

$$\text{Peso}_{\text{Tambor}} = 272.731 \text{ N}$$

- Cálculo del peso del aislamiento:

$$V_{\text{ParedCilindro}} = 49313659.923 \text{ mm}^3$$

$$V_{\text{ParedesLaterales}} = 38038842.478 \text{ mm}^3$$

$$V_{\text{Aislamiento}} = V_{\text{ParedCilindro}} + V_{\text{ParedesLaterales}} \quad (24)$$

$$V_{\text{Aislamiento}} = 87352502.401 \text{ mm}^3$$

$$\text{Peso}_{\text{Aislamiento}} = V_{\text{Aislamiento}} \times \rho_{\text{Poliuretano}} \quad (25)$$

$$\text{Peso}_{\text{Aislamiento}} = (87352502.401 \text{ mm}^3 \times 40 \text{ Kg/mm}^3) \times 9.8$$

$$\text{Peso}_{\text{Aislamiento}} = 272.731 \text{ N}$$

- Cálculo del peso de la capa externa:

$$V_{\text{ParedesCilindro}} = 2668720.442 \text{ mm}^3$$

$$V_{\text{ParedCilindroAislante}} = 133246.4 \text{ mm}^3$$

$$V_{\text{ParedesLaterales}} = 1382892.429 \text{ mm}^3$$

$$V_{\text{ParedesLateralesAislante}} = 67743.2 \text{ mm}^3$$

$$V_{\text{CapaExterna}} = (V_{\text{ParedCilindroAislante}} + V_{\text{ParedCilindro}} + V_{\text{ParedesLaterales}} + V_{\text{ParedesLateralesAislante}}) \quad (26)$$

$$V_{\text{CapaExterna}} = 4252602.471 \text{ mm}^3$$

$$\text{Peso}_{\text{CapaExterna}} = V_{\text{CapaExterna}} \times \gamma_{\text{Inox}} \quad (27)$$

$$\text{Peso}_{\text{CapaExterna}} = (4252602.471 \text{ mm}^3 \times 7.92 \times 10^{-6} \text{ Kg/mm}^3) \times 9.8$$

$$\text{Peso}_{\text{CapaExterna}} = 331.737 \text{ N}$$

- Cálculo del peso de la puerta de acceso:

$$V_{\text{Lamina}} = (174595.6 + 88037.8 + 349581.8144 + 452923.548) \text{ mm}^3$$

$$V_{\text{Lamina}} = 1065138.763 \text{ mm}^3$$

$$\text{Peso}_{\text{Lamina}} = V_{\text{Lamina}} \times \gamma_{\text{Inox.}} \quad (28)$$

$$\text{Peso}_{\text{Lamina}} = (1065138.763 \text{ mm}^3 \times 7.92 \times 10^{-6} \text{ Kg/mm}^3) \times 9.8$$

$$\text{Peso}_{\text{Lamina}} = 82.67 \text{ N}$$

$$V_{\text{Aislamiento}} = 10211223.67 \text{ mm}^3$$

$$\text{Peso}_{\text{Aislante}} = V_{\text{Aislante}} \times \rho_{\text{Poliuretano}} \quad (29)$$

$$\text{Peso}_{\text{Aislante}} = (10211223.67 \text{ mm}^3 \times 40 \text{ Kg/mm}^3) \times 9.8$$

$$\text{Peso}_{\text{Aislante}} = 4.002 \text{ N}$$

$$\text{Peso}_{\text{Puertade Acceso}} = \text{Peso}_{\text{Lamina}} + \text{Peso}_{\text{Aislante}} \quad (30)$$

$$\text{Peso}_{\text{Puertade Acceso}} = (8.4358 \text{ Kg} + 0.4084 \text{ Kg}) \times 9.8$$

$$\text{Peso}_{\text{Puertade Acceso}} = 86.67 \text{ N}$$

- Peso total del cuerpo:

$$\text{Peso}_{\text{cuerpo}} = \text{Peso}_{\text{Tambor}} + \text{Peso}_{\text{Aislamiento}} + \text{Peso}_{\text{CapaExterna}} + \text{Peso}_{\text{Puertade Acceso}} \quad (31)$$

$$\text{Peso}_{\text{cuerpo}} = (27.8297 \text{ Kg.} + 27.8297 \text{ Kg.} + 33.8507 \text{ Kg.} + 8.8442 \text{ Kg.}) \times 9.8$$

$$\text{Peso}_{\text{cuerpo}} = 725.38 \text{ N}$$

- Peso material de caucho:

$$\text{Peso}_{\text{caucho}} \approx 127.4 \text{ N}$$

- Peso total:

Peso Total = 852.783 N

Por lo tanto, la carga de diseño para el Árbol Inyector es: 882 N

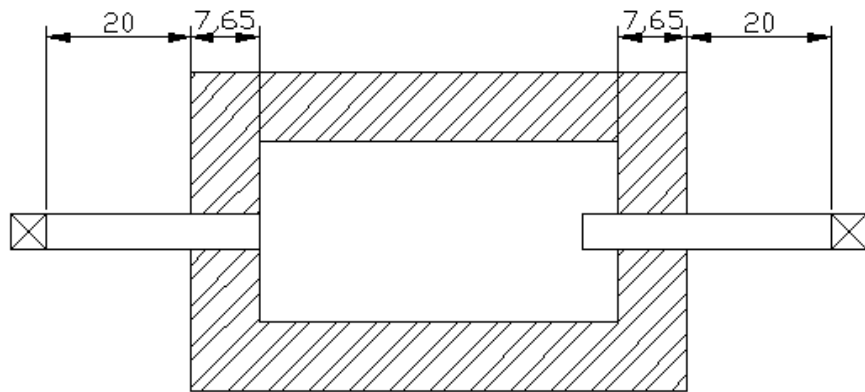
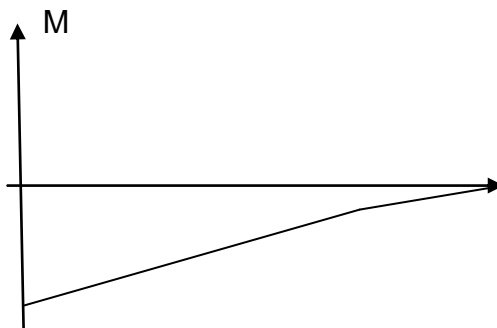
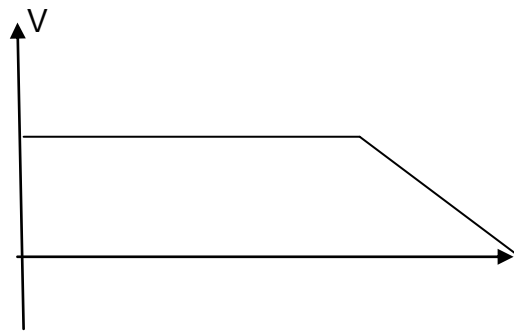
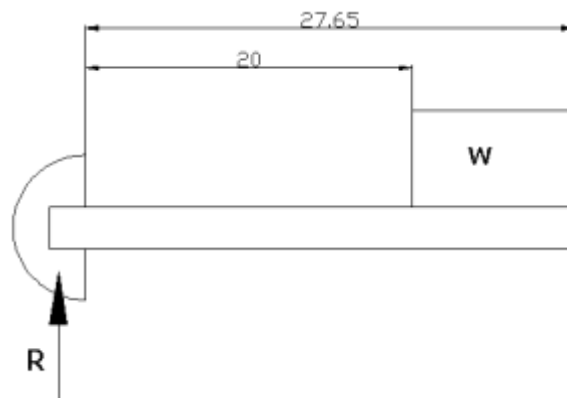


FIGURA 5.10. CORTE TRANSVERSAL DEL CUERPO

La carga de 882 N va a estar dividida en dos de 441 N en cada uno de los ejes, ya que las distancias son iguales (0.2 m) por lo que para el análisis se toma como muestra uno de los ejes (6).



$$w = \frac{45 \text{ Kg}}{7,65 \text{ cm}} * \frac{9.8}{0.01} \quad (32)$$

$$w = 5764.36 \text{ N/m}$$

$$R = w * (l - a) \quad (33)$$

$$R = 5.882 * (27.65 - 20)$$

$$R = 45 \text{ Kg}$$

$$V_{\max} = R \quad (34)$$

$$V_{\max} = 45 \text{ Kg}$$

$$V_{\max} = 441 \text{ N}$$

$$M_{\max} = \frac{w}{2} * (l^2 - a^2) \quad (35)$$

$$M_{\max} = \frac{5.882}{2} * (27.65^2 - 20^2)$$

$$M_{\max} = 1072.06 \text{ Kg} * \text{cm}$$

$$M_{\max} = 105.062 \text{ N} * \text{m}$$

Se conoce ahora cuales son el cortante máximo y el momento máximo, pero hay que tomar en cuenta que el eje también va a estar sometido a Torque, por lo tanto hay que hallar el Torque máximo. El valor que se conoce hasta ahora para saber el Torque máximo es la velocidad angular recomendada que es 60 R.P.M. Se supone ahora que el cuerpo alcanza esta velocidad a media revolución (10), por lo tanto:

$$\omega = 60 \frac{\text{rev}}{\text{min}} * \frac{1 \text{min}}{60 \text{seg}} * \frac{2\pi \text{Rad}}{1 \text{rev}} \quad (36)$$

$$\omega = 6.2832 \text{ Rad/seg}$$

$$\theta = \theta_o + \frac{\omega + \omega_o}{2} * t \quad (37)$$

$$\pi = 0 + \frac{6.2832 + 0}{2} * t$$

$$t = 1 \text{ seg}$$

$$\omega = \omega_o + \alpha * t \quad (38)$$

$$6.2832 = 0 + \alpha * 1$$

$$\alpha = 6.2832 \text{ rad/seg}^2$$

$$T = I * \alpha \quad (39)$$

$$I = \frac{m}{2} (r_i^2 + r_o^2) \quad (40)$$

$$I = \frac{90}{2} (0.21638^2 + 0.29288^2)$$

$$I = 5.9669 \text{ Kg} * \text{m}^2$$

$$T = 5.9669 * 6.2832$$

$$T_{\max} = 37.491 \text{ N} * \text{m}$$

Ahora ya encontrado los valores de Torque, momento máximo se puede hallar los esfuerzos que se generan y determinar que tipo y diámetro de eje se puede utilizar en esta máquina.

Como se puede observar el eje va estar sometido a carga por fatiga por lo tanto se debe hacer un análisis del mismo considerando que puede fallar después de algunas revoluciones, y lo que se quiere es que tenga vida infinita, para esto se determina su resistencia a carga estática y luego su resistencia a su carga dinámica. El siguiente

diagrama muestra como fluctúa el esfuerzo del eje debido al momento que se somete.

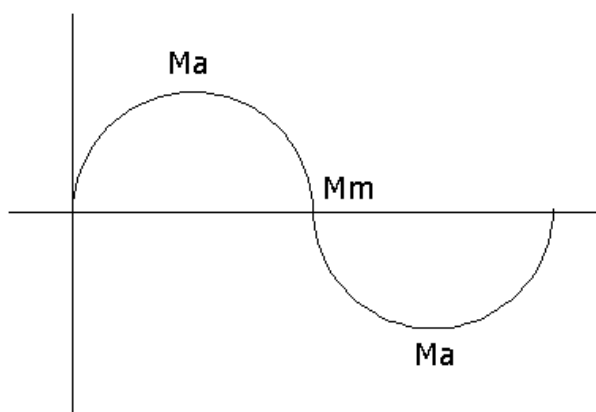


FIGURA 5.11. DIAGRAMA DE VARIACIÓN DE MOMENTO

El material de construcción del árbol sigue siendo acero inoxidable tipo 304 y sometido también a $-130\text{ }^{\circ}\text{C}$, por lo que trae como consecuencia la variación de su resistencia máxima e esta temperatura el cual es $S = 138.07\text{ MPa}$. Se selecciona como árbol un tubo de $1\frac{1}{2}$ " SCH 40 para determinar su resistencia a estas exigencias de momento y Torque máximo, a su vez de la carga dinámica a soportar. No se selecciono un eje hueco por lo que los esfuerzos máximos debido al momento y Torque están en el borde lo cual un tubo muy bien podría cumplir con esta labor y representa un ahorro de material. Las características típicas de un tubo de acero inoxidable tipo 304 de $1\frac{1}{2}$ " de diámetro SCH 40 son las siguientes:

TABLA7
CARACTERISTICAS DEL TUBO DE ACERO INOXIDABLE 304

Material	Diámetro (pulg)	Diámetro exterior (mm)	Espesor (mm)
SS tipo 304	1 ½ SCH 40	48.26	3.68

Ahora se puede determinar cual es el esfuerzo máximo originado por el momento en el árbol σ_{\max} y el esfuerzo máximo originado por el

Torque T_{\max} .

$$\sigma_{\max} = \frac{M * c}{I} \quad (41)$$

$$T_{\max} = \frac{T * c}{J} \quad (42)$$

$$\sigma_{\max} = \frac{M * D_o / 2}{\frac{\pi}{64} (D_o^4 - d_i^4)} \quad (43)$$

$$T_{\max} = \frac{T * D_o / 2}{\frac{\pi}{32} (D_o^4 - d_i^4)} \quad (44)$$

$$\eta = \frac{S_y}{\sigma_{\max}}$$

$$\sigma_{\max} = \frac{105.062 * 0.04826 / 2}{\frac{\pi}{64} * (0.04826^4 - 0.04458^4)}$$

$$\sigma_{\max} = 35.206 \text{ MPa}$$

$$\eta = \frac{138.07 * 10^6}{35.206 * 10^6}$$

$$\eta = 3.9$$

$$\eta = \frac{S_{sy}}{\tau_{\max}}$$

$$\tau_{\max} = \frac{37.491 * 0.04826 / 2}{\frac{\pi}{32} * (0.04826^4 - 0.04458^4)}$$

$$\tau_{\max} = 6.248 \text{ MPa}$$

$$\eta = \frac{69.035 * 10^6}{6.248 * 10^6}$$

$$\eta = 11$$

Como se pudo demostrar el tubo seleccionado si puede soportar la carga estática fácilmente, pero queda por demostrar que pueda resistir la carga dinámica. Para realizar el cálculo para fatiga se debe encontrar el esfuerzo máximo de tensión o compresión, pero existe tanto esfuerzo por momento como esfuerzo por torsión por lo que se debe encontrar un esfuerzo que represente a estos dos, y la manera es por medio de Von Misses (7).

$$\sigma'_a = \sqrt{\sigma_a^2 + 3 * \tau_{xy}^2} \quad (45)$$

$$\sigma'_a = \sqrt{35.206^2 + 3 * 6.248^2}$$

$$\sigma'_a = 36.831 \text{ MPa}$$

En este momento se puede realizar el cálculo de resistencia del tubo sometido a fatiga mediante el siguiente procedimiento:

- 1) Se determina cual es el límite de resistencia a la fatiga. Como resistencia última se toma el esfuerzo máximo permisible a -130 °C ya escrito anteriormente.

$$S'_e = 0.5 * S_{ut} \quad (46)$$

$$S'_e = 0.5 * 138.07$$

$$S'_e = 69.035 \text{ MPa}$$

- 2) Luego se determina cual es el límite de resistencia a la fatiga corregido. Aquí se toma en cuenta los efectos de carga, efectos dimensionales, efectos superficiales, efectos de temperatura y la confiabilidad.

$$S_e = C_{carga} * C_{tamaño} * C_{superficie} * C_{temperatura} * C_{confiabilidad} * S'_e \quad (47)$$

- a) Los efectos de carga se determinan de acuerdo a la carga ya sea por flexión o por carga axial. En caso de ser carga por flexión $C_{carga} = 1$ y en caso de carga axial $C_{carga} = 0.70$

(7). En este caso por ser carga por flexión se determina que

$$C_{\text{carga}} = 1.$$

- b) Los efectos dimensionales se determinan según el tamaño del eje, de acuerdo a la siguiente tabla (7):

TABLA 8

TABLA DE EFECTOS DIMENSIONALES

Para $d < 0.3$ in (8mm)	$C_{\text{tamaño}} = 1$
Para 0.3 in $< d < 10$ in	$C_{\text{tamaño}} = 0.0869d^{-0.097}$
Para 8 mm $< d < 250$ mm	$C_{\text{tamaño}} = 1.189d^{-0.097}$

El diámetro del tubo es 48.26 mm, por lo tanto:-

$$C_{\text{tamaño}} = 1.189 * d^{-0.097} \quad (48)$$

$$C_{\text{tamaño}} = 1.189 * 48.26^{-0.097}$$

$$C_{\text{tamaño}} = 0.81$$

- c) El factor superficial se determina de acuerdo a como es el acabado superficial del material y se establece de acuerdo a la Tabla 6-3 del apéndice G y a la siguiente ecuación:

$$C_{\text{superficie}} \approx A * (S_{\text{ut}})^b \quad (49)$$

Los valores de escogen de la tabla de acuerdo al acabado superficial del material, en este caso el tubo es estirado en frío, por lo tanto:

TABLA 9
VALORES DE A Y b PARA ACABADO SUPERFICIAL

A (MPa)	b (MPa)
4.51	-0.265

$$C_{\text{superficie}} \approx 4.51 * (138.07)^{-0.265}$$

$$C_{\text{superficie}} \approx 1$$

d) Los efectos de temperatura se determina de acuerdo a la temperatura ambiente del lugar de trabajo del eje y se escoge de acuerdo a la siguiente tabla (7):

TABLA 10
EFFECTOS DE TEMPERATURA DEL AMBIENTE DE TRABAJO

Para $T < 450 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ($840 \text{ }^{\circ}\text{F}$)	$C_{\text{temperatura}} = 1$
Para $450 \text{ }^{\circ}\text{C} < T < 550 \text{ }^{\circ}\text{C}$	$C_{\text{temperatura}} = 1 - 0.0058 * (T - 450)$
Para $840 \text{ }^{\circ}\text{F} < T < 1020 \text{ }^{\circ}\text{F}$	$C_{\text{temperatura}} = 1 - 0.0032 * (T - 840)$

Como la temperatura ambiental del lugar de trabajo no supera los 27 °C, entonces $C_{\text{temperatura}} = 1$

- e) El factor de confiabilidad se determina de acuerdo a la confiabilidad de operación del árbol y se escoge de acuerdo a la Tabla 6-4 del apéndice H donde hay un rango de porcentajes de confiabilidad. En este diseño se escoge como porcentaje de confiabilidad el 90 %, por lo tanto $C_{\text{confiabilidad}} = 0.0897$.

Una vez encontrado todos los factores se calcula el límite de resistencia a la fatiga corregido

$$S_e = C_{\text{carga}} * C_{\text{tamaño}} * C_{\text{superficie}} * C_{\text{temperatura}} * C_{\text{confiabilidad}} * S_e'$$

$$S_e = (1) * (0.81) * (1) * (1) * (0.89) * (69.035)$$

$$S_e = 50.159 \text{ MPa}$$

- 3) Una vez encontrado el límite de resistencia se calcula el factor de seguridad, que sirve para determinar si el material escogido fue el correcto

$$\eta = \frac{S_e * S_{ut}}{\sigma'_a * S_{ut} + \sigma'_m * S_e} \quad (50)$$

$$\eta = \frac{S_e}{\sigma'_a}$$

$$\eta = \frac{50.159}{36.831}$$

$$\eta = 1.4$$

Como se pudo comprobar el tubo de 1½" SCH 40 si resistirá la carga dinámica a la que estará sometida a la temperatura de trabajo.

5.3 Selección de Cojinetes

Para elegir un rodamiento se debe determinar cual es su carga radial y cual es su carga axial. En este diseño solo existe carga radial que es la provocada por el peso del cuerpo dividido en dos, debido a que el peso total será soportado por dos cojinetes.

La carga radial que debe resistir el rodamiento es de aproximadamente 441 N. De acuerdo a la tabla mostrada en el apéndice para seleccionar tipos de rodamientos se selecciona un rodamiento rígido de bolas a contacto angular.

Los pasos a seguir para seleccionar el tipo de rodamiento de bolas adecuado para la carga a resistir son los siguientes (11):

- 1) Se debe determinar cual es la carga dinámica equivalente radial P_r de acuerdo a la siguiente formula:

$$P_r = X * F_r + Y * F_a \quad (51)$$

Donde:

F_r : carga radial (N)

F_a : carga axial (N)

$$P_r = (1) * 441 + 0$$

$$P_r = 441 \text{ N}$$

- 2) Luego se determina cual es su capacidad básica de carga dinámica, mediante la siguiente formula:

$$C_r = \frac{60 * n}{10^6} * L_{10h}^{1/p} * P_r \quad (52)$$

Donde:

n : velocidad rotacional (R.P.M.)

L_{10h} : vida nominal básica (horas); máquinas usadas en períodos cortos, o usadas ocasionalmente $L_{10h} = 4000 \text{ h}$

$p = 3$ para rodamiento de bolas

$$C_r = \frac{60 * 60}{10^6} * 4000^{1/3} * 441$$

$$C_r = 1072.9 \text{ N}$$

- 3) Una vez encontrado el valor de la capacidad básica de carga dinámica (C_r) buscamos en la tabla que se encuentra en el

apéndice I cual es el código del cojinete apropiado para la máquina desbarbadora que se esta diseñando.

Se selecciono el cojinete cuyo código es 7010, el cual tiene las siguientes características (11):

TABLA 10
CARACTERISTICAS DEL RODAMIENTO 7910 NTN

Diámetro interno d (mm)	Diámetro externo D (mm)	Ancho B (mm)	Carga dinámica C_r (N)	Carga estática C_{or} (N)
50	80	16	23700	20100

5.4 Selección de Acople de Entrada

Los acoples giratorios son diseñados especialmente para brazos de cañerías en movimiento giratorio de hasta 360°.

Sus partes constructivas son las siguientes:

- a) Cuerpo axial o radial; en fundición nodular, bronce o acero inoxidable.
- b) Tapa; en fundición nodular, bronce o acero inoxidable.
- c) Medios conos; en bronce o acero inoxidable.
- d) Codo con esfera; en bronce o acero inoxidable.
- e) Resorte; acero inoxidable.
- f) Sello esférico; en PTFE con carga de carbón.

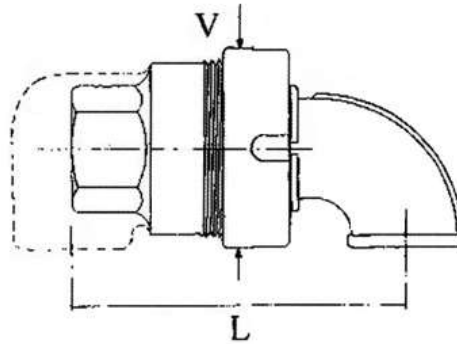


FIGURA 5.12. ACOPLER GIRATORIO

TABLA 12

MEDIDAS DE ACOPLER GIRATORIOS

φ Medida	V (mm)	L (mm)
1/2"	70	85
3/4"	78	100
1"	86	110
1 1/2"	103	145
2"	122	170
2 1/2"	144	195
3"	160	250

De acuerdo a los datos ya mostrados anteriormente se selecciona un acople giratorio de 1 1/2" construido de acero inoxidable para que ingrese al tambor el nitrógeno a la presión y temperatura adecuada.



FIGURA 5.13. ACOPLER GIRATORIO AXIAL

5.5 Diseño de Estructura de Soporte

La estructura que va a soportar la máquina debe ser lo suficientemente resistente para tener una larga duración. Sobre ella va a estar apoyado los dos cojinetes seleccionados anteriormente, los cuales representan 441 N de fuerza cada uno, lo que sería la carga de diseño. La estructura a diseñar debe ser lo mas liviana posible por lo que se elegirá como perfiles a ángulos de acero estructural, pero que tengan la resistencia necesaria para aguantar la carga que se le aplique.

El siguiente grafico muestra como van a ir distribuidas las vigas y cuales son sus medidas, las cuales mediante el programa SAP2000 se comprobara su resistencia a la carga:

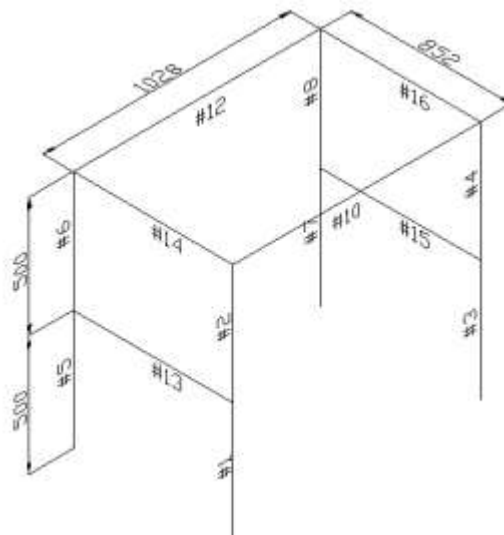


FIGURA 5.14. ESQUEMA DE LA ESTRUCTURA DE SOPORTE

Ahora se selecciona cuales son las diferentes secciones de las diferentes vigas, las cuales son a continuación:

TABLA 13
SECCIONES DIFERENTES DE VIGAS

Viga	Perfil	SAP2000
#1	L 25*25*3	F SEC 3
#2	L 25*25*3	F SEC 3
#3	L 25*25*3	F SEC 3
#4	L 25*25*3	F SEC 3
#5	L 25*25*3	F SEC 3
#6	L 25*25*3	F SEC 3
#7	L 25*25*3	F SEC 3
#8	L 25*25*3	F SEC 3
#10	L 50*50*3	F SEC 2
#12	L 50*50*3	F SEC 2
#13	L 25*25*3	F SEC 3
#14	L 50*50*3	F SEC 2
#15	L 25*25*3	F SEC 3
#16	L 50*50*3	F SEC 2

El material de los perfiles será acero estructural ASTM A36. Ahora estos valores se ingresan en el programa SAP200 y se verifican sus reacciones:

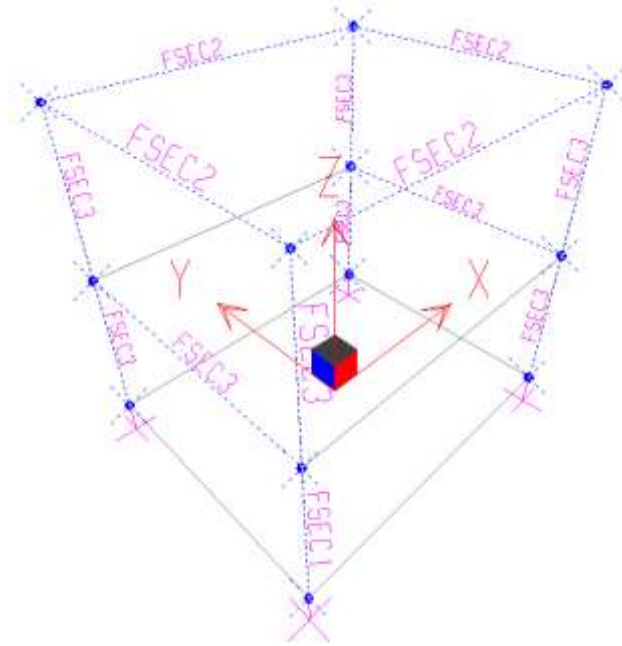


FIGURA 5.15. ESQUEMA DE LAS SECCIONES DE VIGAS

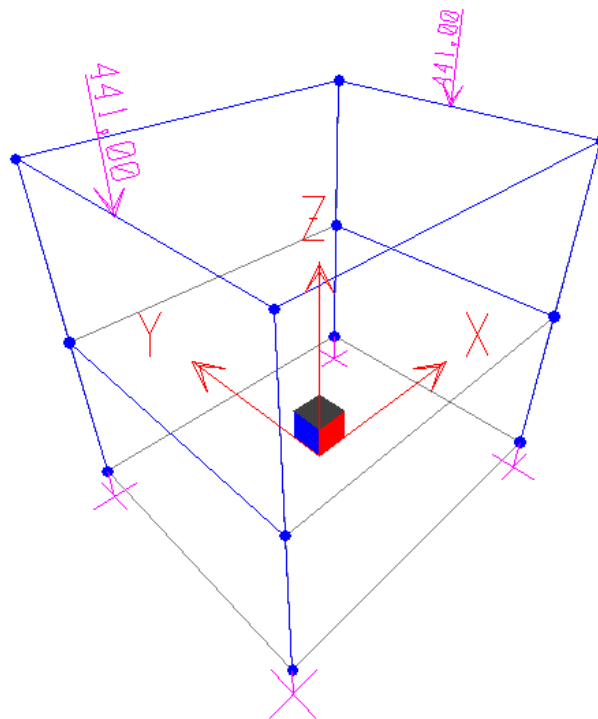


FIGURA 5.16. ESQUEMA DE LAS CARGAS EN LA ESTRUCTURA

Las propiedades de los perfiles son las siguientes:

TABLA 14
PROPIEDADES DE LOS PERFILES DE LAS VIGAS

Perfil	A (cm ²)	I _x (cm ⁴)	I _y (cm ⁴)	W _x (cm ³)	W _y (cm ³)	i _x (cm)	i _y (cm)
F SEC 2	2.91	7.1494	7.1494	1.9648	1.9648	1.5674	1.5674
F SEC 3	1.41	0.8204	0.8204	0.4648	0.4648	0.7628	0.7628

Los resultados de las reacciones en las vigas debido a la carga sometida se demuestran en las siguientes tablas, los cuales indican: # Viga (FRAME), Tipo de carga (LOAD), distancia (LOC), fuerza axial (P), fuerza cortante en dirección Z (V2), fuerza cortante en dirección Y (V3), Torque (T), Momento en dirección Z (M2) y momento en dirección Y (M3). (Las unidades están en N-m).

Luego se realiza un análisis de cada una de ellas para determinar si las vigas pueden resistir a la carga a la se somete, mediante las siguientes ecuaciones:

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (53)$$

$$\sigma = \frac{M}{W} \quad (54)$$

$$\tau_{xy} = \frac{3 * V}{2 * A} \quad (55)$$

$$\sigma = \sqrt{\sigma_c^2 + 3 * \tau_{xy}^2} \quad (56)$$

$$\eta = \frac{S_y}{\sigma} \quad (57)$$

Viga #1

FRAME	LOAD	LOC	P	V2	V3	T	M2	M3
1	VIVA							
		0,00	-220,50	0,00	8,60	0,00	1,42	0,00
		2,5E-01	-220,50	0,00	8,60	0,00	-7,348E-01	0,00
		5,0E-01	-220,50	0,00	8,60	0,00	-2,89	0,00

Análisis:

En la viga #1 se encuentra el mayor esfuerzo a 50 cm:

Pmax	Vmax	Mmax	σ_c	σ_t	τ_{xy}	σ	η
220,5	8,6	2,89	7781557,84	0	91489,36	7783171,16	31,9

Viga #2

FRAME	LOAD	LOC	P	V2	V3	T	M2	M3
2	VIVA							
		0,00	-220,50	0,00	-31,59	0,00	-3,75	0,00
		2,5E-01	-220,50	0,00	-31,59	0,00	4,15	0,00
		5,0E-01	-220,50	0,00	-31,59	0,00	12,05	0,00

Análisis:

En la viga #2 se encuentra el mayor esfuerzo a 50 cm:

Pmax	Vmax	Mmax	σ_c	σ_t	τ_{xy}	σ	η
220,5	31,59	12,05	27488958,88	0	336063,83	27495120,96	9,0

Viga #3

FRAME	LOAD	LOC	P	V2	V3	T	M2	M3
3	VIVA							
		0,00	-220,50	0,00	-8,60	0,00	-1,42	0,00
		2,5E-01	-220,50	0,00	-8,60	0,00	7,348E-01	0,00
		5,0E-01	-220,50	0,00	-8,60	0,00	2,89	0,00

Análisis:

En la viga #3 se encuentra el mayor esfuerzo a 50 cm:

Pmax	Vmax	Mmax	σ_c	σ_t	τ_{xy}	σ	η
220,5	8,6	2,89	7781557,84	0	91489,36	7783171,16	31,9

Viga #4

FRAME	LOAD	LOC	P	V2	V3	T	M2	M3
4	VIVA							
		0,00	-220,50	0,00	31,59	0,00	3,75	0,00
		2,5E-01	-220,50	0,00	31,59	0,00	-4,15	0,00
		5,0E-01	-220,50	0,00	31,59	0,00	-12,05	0,00

Análisis:

En la viga #4 se encuentra el mayor esfuerzo a 50 cm:

Pmax	Vmax	Mmax	σ_c	σ_t	τ_{xy}	σ	η
220,5	31,59	12,05	27488958,88	0	336063,83	27495120,96	9,0

Viga #5

FRAME	LOAD	LOC	P	V2	V3	T	M2	M3
5	VIVA							
		0,00	-220,50	0,00	8,60	0,00	1,42	0,00
		2,5E-01	-220,50	0,00	8,60	0,00	-7,348E-01	0,00
		5,0E-01	-220,50	0,00	8,60	0,00	-2,89	0,00

Análisis:

En la viga #5 se encuentra el mayor esfuerzo a 50 cm:

Pmax	Vmax	Mmax	σ_c	σ_t	τ_{xy}	σ	η
220,5	8,6	2,89	7781557,84	0	91489,36	7783171,16	31,9

Viga #6

FRAME	LOAD	LOC	P	V2	V3	T	M2	M3
6	VIVA							
		0,00	-220,50	0,00	-31,59	0,00	-3,75	0,00
		2,5E-01	-220,50	0,00	-31,59	0,00	4,15	0,00
		5,0E-01	-220,50	0,00	-31,59	0,00	12,05	0,00

Análisis:

En la viga #6 se encuentra el mayor esfuerzo a 50 cm:

Pmax	Vmax	Mmax	σ_c	σ_t	τ_{xy}	σ	η
220,5	31,59	12,05	27488958,88	0	336063,83	27495120,96	9,0

Viga #7

FRAME	LOAD	LOC	P	V2	V3	T	M2	M3
7	VIVA							
		0,00	-220,50	0,00	-8,60	0,00	-1,42	0,00
		2,5E-01	-220,50	0,00	-8,60	0,00	7,348E-01	0,00
		5,0E-01	-220,50	0,00	-8,60	0,00	2,89	0,00

Análisis:

En la viga #7 se encuentra el mayor esfuerzo a 50 cm:

Pmax	Vmax	Mmax	σ_c	σ_t	τ_{xy}	σ	η
220,5	8,6	2,89	7781557,84	0	91489,36	7783171,16	31,9

Viga #8

FRAME	LOAD	LOC	P	V2	V3	T	M2	M3
8	VIVA							
		0,00	-220,50	0,00	31,59	0,00	3,75	0,00
		2,5E-01	-220,50	0,00	31,59	0,00	-4,15	0,00
		5,0E-01	-220,50	0,00	31,59	0,00	-12,05	0,00

Análisis:

En la viga #12 como se pudo observar que no existen mayores cargas a considerar, debido a que se obtienen solo valores decimales, por lo que se calcularía un factor de seguridad muy alto.

Viga #13

FRAME	LOAD	LOC	P	V2	V3	T	M2	M3
13	VIVA							
		0,00	40,19	0,00	0,00	0,00	0,00	-8,624E-01
		2,1E-01	40,19	0,00	0,00	0,00	0,00	-8,624E-01
		4,3E-01	40,19	0,00	0,00	0,00	0,00	-8,624E-01
		6,4E-01	40,19	0,00	0,00	0,00	0,00	-8,624E-01
		8,5E-01	40,19	0,00	0,00	0,00	0,00	-8,624E-01

Análisis:

En la viga #13 se encuentra el mayor esfuerzo a 85.26 cm:

Pmax	Vmax	Mmax	σ_t	σ_c	τ_{xy}	σ	η
40,19	0	0	285035,46	0	0	285035,46	870,8

Viga #14

FRAME	LOAD	LOC	P	V2	V3	T	M2	M3
14	VIVA							
		0,00	-31,59	-220,50	0,00	0,00	0,00	-12,05
		2,1E-01	-31,59	-220,50	0,00	0,00	0,00	34,92
		4,3E-01	-31,59	220,50	0,00	0,00	0,00	81,89
		6,4E-01	-31,59	220,50	0,00	0,00	0,00	34,92
		8,5E-01	-31,59	220,50	0,00	0,00	0,00	-12,05

Análisis:

En la viga #14 se encuentra el mayor esfuerzo a 42.63 cm:

Pmax	Vmax	Mmax	σ_c	σ_t	τ_{xy}	σ	η
31,59	220,5	81,89	41787099,05	0	1136598	41833446,08	5,9

Viga #15

FRAME	LOAD	LOC	P	V2	V3	T	M2	M3
15	VIVA							
		0,00	40,19	0,00	0,00	0,00	0,00	-8,624E-01
		2,1E-01	40,19	0,00	0,00	0,00	0,00	-8,624E-01
		4,3E-01	40,19	0,00	0,00	0,00	0,00	-8,624E-01
		6,4E-01	40,19	0,00	0,00	0,00	0,00	-8,624E-01
		8,5E-01	40,19	0,00	0,00	0,00	0,00	-8,624E-01

Análisis:

En la viga #15 se encuentra el mayor esfuerzo a 85.26 cm:

Pmax	Vmax	Mmax	σ_t	σ_c	τ_{xy}	σ	η
40,19	0	0	285035,46	0	0	285035,46	870,8

Viga #16

FRAME	LOAD	LOC	P	V2	V3	T	M2	M3
16	VIVA							
		0,00	-31,59	-220,50	0,00	0,00	0,00	-12,05
		2,1E-01	-31,59	-220,50	0,00	0,00	0,00	34,92
		4,3E-01	-31,59	220,50	0,00	0,00	0,00	81,89
		6,4E-01	-31,59	220,50	0,00	0,00	0,00	34,92
		8,5E-01	-31,59	220,50	0,00	0,00	0,00	-12,05

Análisis:

En la viga #16 se encuentra el mayor esfuerzo a 42.63 cm:

P _{max}	V _{max}	M _{max}	σ_c	σ_t	τ_{xy}	σ	η
31,59	220,5	81,89	41787099,05	0	1136598	41833446,08	5,9

Con esto se demuestra que la estructura si resistirá con facilidad la carga que debe soportar conservando la estética

5.6 Diseño de Cubeta de Recolección

Para el diseño de la cubeta de recolección de las piezas de caucho ya desbarbadas se utilizaría acero inoxidable tipo 304, teniendo el mismo volumen de capacidad que el del tambor. Como las planchas comerciales tienen las medidas estándar de 1220*2440 mm, en la sección 5.7 se demostrará que en la fabricación del tambor sobraré material de acero inoxidable tipo 304 de 4 mm de espesor, el cual puede aprovecharse para la construcción de la cubeta de recolección.

La cubeta estaría conformado por:

- a) Una caja abierta construida por 5 planchas de acero inoxidable el cual estaría dividido en dos cámaras mediante una malla fina desmontable, con el objeto de separar las piezas de caucho acabadas del resto de material del desbarbado que formaban parte de las rebabas. La cámara

que contendría este material tendría una puerta de acceso para el desalojo de la rebaba acumulada.

- b) Cuatro ruedas giratorias para su fácil movilización; y
- c) Un mango acoplado a la caja para manipular la cubeta. Este mango estaría hecho de tubo de ½" SCH 40 soldada directamente a una de las caras de la caja.

Las medidas de la caja dependerían del volumen del tambor y la longitud y el ancho de la abertura de acceso del tambor, los cuales son los siguientes:

Volumen del tambor: 0.07 m^3

Longitud de la abertura de acceso del tambor: 0.48 m

Ancho de la abertura de acceso del tambor: 0.24 m

Por lo tanto, se define:

Longitud (L) = 0.5 m

Ancho (a) = 0.3 m

$$V = L \times a \times h \quad (58)$$

$$0.07 = 0.5 \times 0.3 \times h$$

$$h = 0.47 \text{ m}$$

Como se pudo calcular la altura de la caja sería 47 cm, pero para una fácil manipulación de la misma la altura ideal sería de un metro, por lo tanto, la altura del mango desde el filo superior de la caja sería 48 cm.

La apertura de acceso del tambor debe coincidir con la de la caja, por consiguiente el mango estaría desfasado de una de las caras de la caja 28 cm. La malla fina divisora se ubicaría a la mitad de la altura de la caja es decir 23 cm.

En el siguiente grafico se detalla más específicamente el diseño de forma de la cubeta.

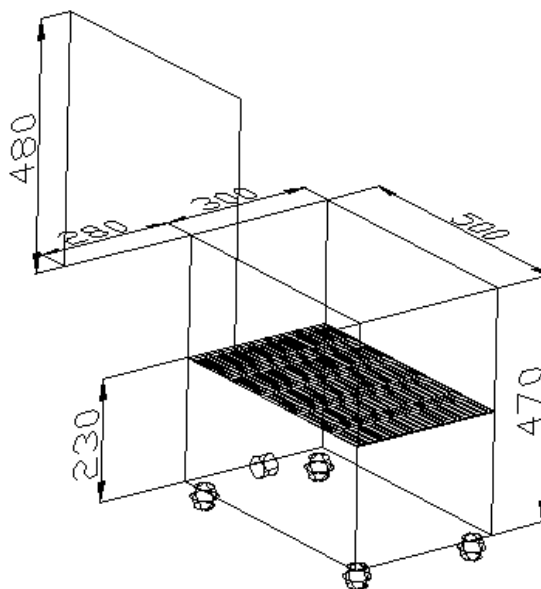


FIGURA 5.17. ESQUEMA DE LA CUBETA DE RECOLECCIÓN

5.7 Ensamble de las Partes: Soldadura

Parte del diseño de una máquina es indicar su modo de fabricación. En el caso de esta máquina desbarbadora su modo de ensamble estará regido mediante la norma ASME VIII ADD 2003 parte ULT del apéndice C para envases sometidos a presión y que trabajan con fluido de baja temperatura, el cual indica ciertas reglas de diseño la cual se presentan a continuación, y que dará una pauta para seleccionar el tipo de soldadura correcta para la posible fabricación de esta máquina:

- Todas las juntas serán de soldaduras de penetración llenas.
- La alineación de juntas longitudinales en secciones cilíndricas adyacentes o cabezas se desplazara cinco veces por lo menos el espesor del material más espeso.
- Para envases de acero inoxidable Tipo AISI 304, todas las uniones estructurales que son soldadas directamente a las partes de presión serán hechos del mismo material como las partes de presión a los cuales ellos se atan.
- Para el acero inoxidable Tipo AISI 304, se aplican las provisiones siguientes:

- Los procesos de soldadura que pueden usarse son limitados a arco gas-metal, arco de gas-tungsteno, y arco sumergido.
- El metal de relleno se limita a AWS ER308L y ER308L (Si). El metal del relleno se conformará a SFA especificado los límites de composición de porcentaje.
- Se hará una determinación de ferrita delta de cada porción de metal de relleno por el uso del análisis químico. Adicionalmente, para la soldadura de arco sumergido, se hará una determinación de ferrita delta, por el uso del análisis químico de muchos electrodos y flujo usado para soldaduras de producción. La ferrita delta aceptable no estará menos de 6 FN ni mayor que 14 FN.
- Para juntas de acero inoxidable austeníticas, el tratamiento térmico post soldadura ni es requerido ni es prohibido según la Tabla UHA-32 de la norma ASME VIII ADD 2003 parte UHA.
- Todas las juntas del extremo se examinarán por 100% radiografía.
- Todas las uniones soldadas, y todas juntas soldadas sujetas a presión que no son examinadas por radiografía o comprobación ultrasónica, se hará una prueba de líquidos penetrantes ya sea antes o después de la hidropueba. Las indicaciones pertinentes

son aquéllos del resultado de las imperfecciones. Cualquier indicio lineal relevante mayor que 1.16 in. (1.6 mm) se reparará o se quitará. Cuando se realiza una prueba neumática, los exámenes de líquidos penetrantes se realizaran antes de la prueba.

- Si el envase es probado hidrostáticamente a presión, será a temperatura ambiente en la posición de operación por un mínimo de 15 min, usando los requisitos siguientes de (a) o (b), cualquiera que sea aplicable.
 - a) Salvo envases cubiertos por (b), una prueba hidrostática se realizará a una presión de prueba de por lo menos 1.4 veces la presión de diseño a temperatura ambiente sólo que la proporción de esfuerzos no sea aplicada.
 - b) Cuando el procedimiento de la prueba en (a) causara una tensión de la membrana nominal mayor al 95% de la fuerza de rendimiento mínima especificada o 50% de fuerza de tensión mínima especificada del material en cualquier parte del envase, la prueba hidrostática puede dirigirse a una presión que limita la tensión de la membrana nominal a tal parte del menor de esos valores. Cuando estas condiciones limitan la presión de la prueba hidrostática a un valor menor de 110% de

la presión del funcionamiento aceptable máxima a temperatura ambiente, se realizará una prueba neumática.

1. Una prueba neumática puede usarse en lugar de la prueba hidrostática para envases que sean:
 - a) Diseñados y/o apoyados en las que no puedan llenarse seguramente de agua, o
 - b) No se seque rápidamente, y se use en servicios dónde el líquido no puede tolerarse.
- La prueba neumática del envase se hará a temperatura ambiente por un mínimo de 15 min.
- La presión de la prueba neumática será de por lo menos 1.2 veces la presión interior a temperatura ambiente, salvo que la proporción de tensiones no sea aplicada. En ningún caso la presión deberá exceder 1.2 veces la base para la presión de la prueba calculada.

A continuación, utilizando estas reglas mostradas anteriormente se es posible elegir el procedimiento de soldadura adecuado para ejecutar en cada parte de la máquina en la que se necesite uniones, y de esta forma obtener resistencia y rigidez.

Tambor:

El tambor es la parte de la máquina que va a estar sometida a presión, y por lo tanto la que más resistencia debe tener. Por eso para su posible fabricación es importante tomar en cuenta las reglas de diseño mostradas en la norma ASME VIII ADD 2003 parte ULT

Para la fabricación del tambor solo requiere dos uniones soldadas, que son las uniones de las paredes del hexágono con las 2 paredes laterales. Estas uniones se las puede realizar mediante electrodos de acero inoxidable AWS E 308L – 16 (12) debido al espesor de las planchas de 4 mm y la presión que debe soportar, ya que este procedimiento de soldadura es recomendable para este tipo de espesores, y de esta forma obtener penetración llena, además de la resistencia a la tracción del electrodo de 85000 psi.

Como las planchas estándar que se obtienen de los vendedores de acero inoxidable tipo 304 de 4 mm de espesor tienen las medidas 1220*2440 mm, se puede recortar la medida del perímetro del hexágono, y mediante un proceso de doblado se le puede dar la forma hexagonal. En el siguiente grafico se demuestra más detalladamente:

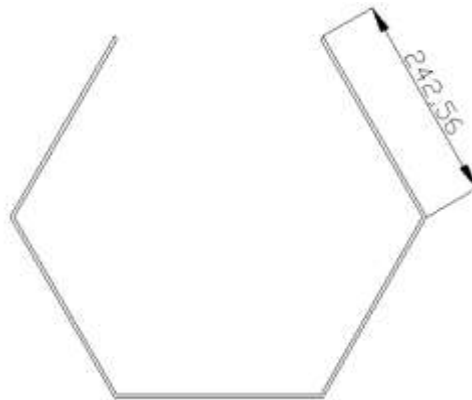
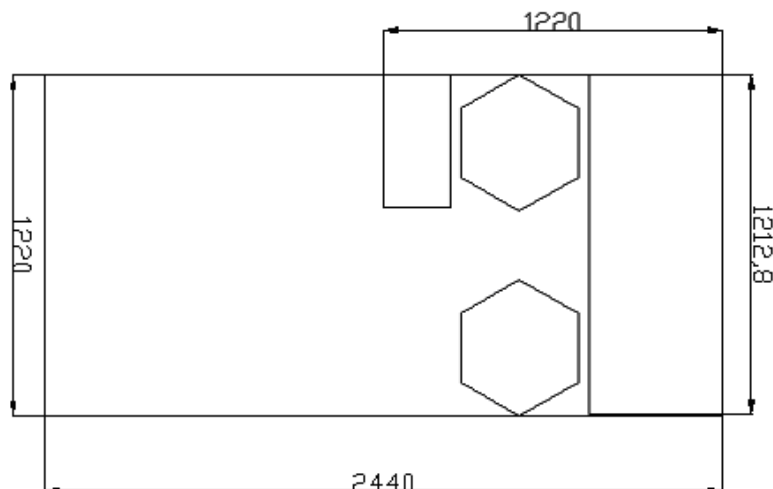


FIGURA 5.18. ESQUEMA DEL TAMBOR

Sumando los cinco lados del hexágono se obtiene una longitud de 1212.8 mm y un ancho de 475.88 mm. En el siguiente gráfico se demuestra que para la fabricación del tambor que debe tener un espesor de 4 mm es suficiente utilizar la mitad de una plancha comercial, incluyendo las 5 paredes del hexágono, las 2 paredes laterales y la última pared del hexágono que forma parte de la tapa de la máquina cuya medida es 242.6 mm * 475.88 mm.



**FIGURA 5.19. RAYADO DEL TAMBOR EN PLANCHA DE ACERO
INOXIDABLE 304**

Capa externa:

En esta parte de la máquina la presión a la que esta sometida es baja, pero si se requiere rigidez y resistencia al impacto, por eso se obtuvo los 2.5 mm de espesor.

Para la fabricación de la capa externa se requiere 15 uniones soldadas, que son las dos uniones de las paredes del hexágono con las 2 paredes laterales, una unión soldada para formar el hexágono y las 12 uniones que debe haber en las planchas de ensamble entre la capa externa y el tambor, para darle rigidez al cuerpo. Estas uniones se las puede realizar mediante varillas de acero inoxidable AWS ER 308L para proceso TIG (12) debido al espesor de las planchas de 2.5

mm, ya que este procedimiento de soldadura es recomendable para espesores menores a 4 mm, y de esta forma obtener penetración llena, además de la resistencia a la tracción de la varilla de 125000 psi.

Como las planchas estándar que se obtienen de los vendedores de acero inoxidable tipo 304 de 2.5 mm de espesor tienen las medidas 1220*2440 mm, se puede recortar la medida del perímetro del hexágono, y mediante un proceso de doblado se le puede dar la forma hexagonal. En el siguiente gráfico se demuestra más detalladamente:

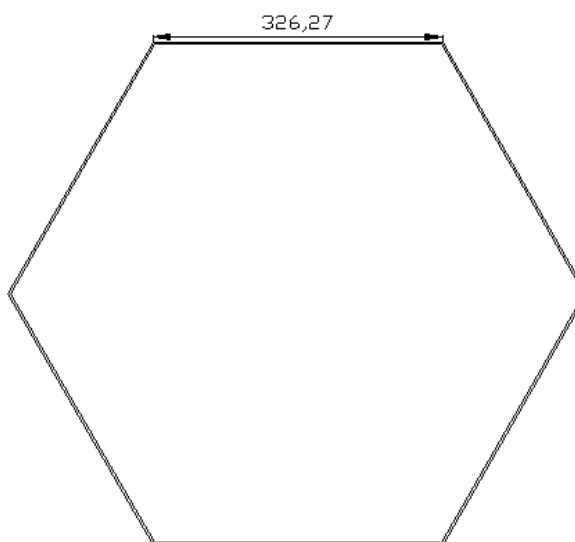


FIGURA 5.20. ESQUEMA DE LA CAPA EXTERNA

Sumando los seis lados del hexágono se obtiene una longitud de 1957.62 mm y un ancho de 623.88 mm. En el siguiente grafico se demuestra que para la fabricación del tambor que debe tener un espesor de 2.5 mm es suficiente utilizar una plancha comercial, incluyendo las 6 paredes del hexágono y las 2 paredes laterales.

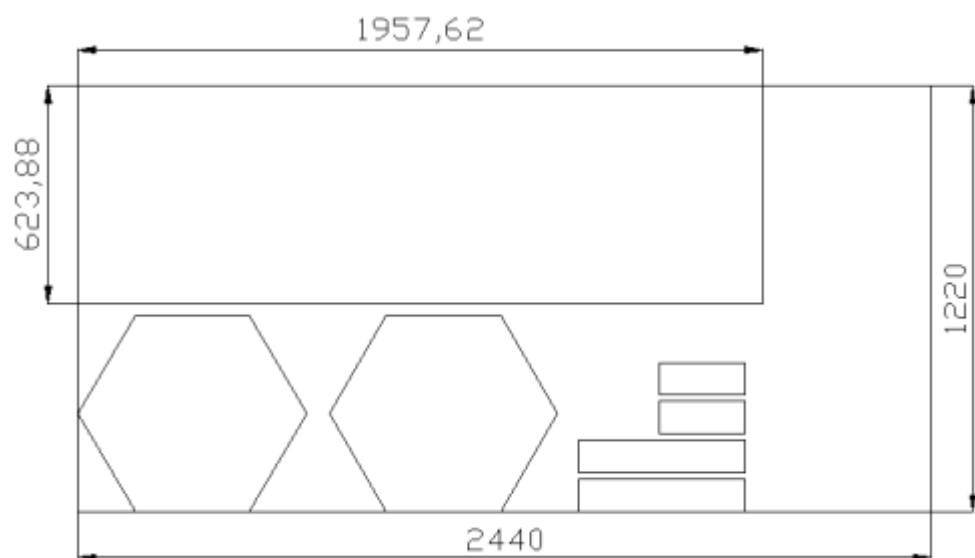


FIGURA 5.21. RAYADO DE LA CAPA EXTERNA EN PLANCHA DE ACERO INOXIDABLE 304

Tapa:

La tapa es una de las partes más importantes del cuerpo de la máquina desbarbadora porque debe soportar la presión interna y a su vez debe tener suficiente rigidez para una larga duración.

Para la fabricación de la tapa se requiere doce uniones soldadas, que son las cuatro uniones para formar las paredes de la tapa de 2.5 mm, cuatro uniones soldadas para ensamblar las paredes con la plancha superior de la tapa de 2.5 mm y las cuatro uniones que debe haber entre las paredes de la tapa de 2.4 mm con la plancha inferior de 4 mm que debe acoplar con las paredes del hexágono del tambor y producir el cierre completo. Estas uniones se las puede realizar mediante electrodos de acero inoxidable AWS E 308L – 16 (12) debido al espesor de la plancha de 4 mm y la presión que debe soportar, y de esta forma obtener penetración llena, además de la resistencia a la tracción del electrodo de 85000 psi.

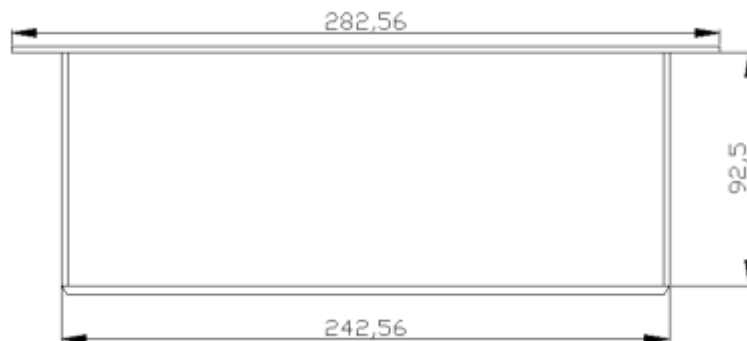


FIGURA 5.22. CORTE TRANSVERSAL DE VISTA FRONTAL DE LA TAPA

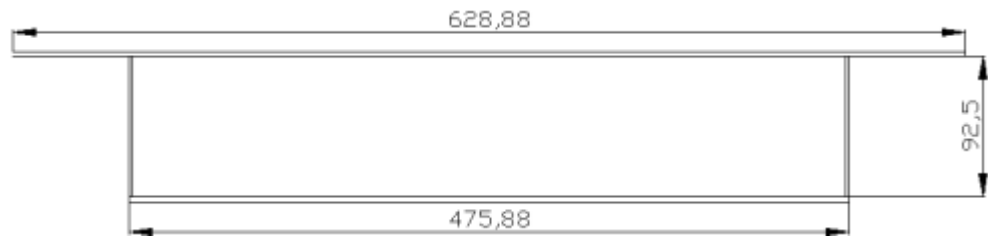


FIGURA 5.23. CORTE TRANSVERSAL DE VISTA LATERAL DE LA TAPA

De la plancha de 2.5 mm que se utiliza para fabricar la capa externa sirve también para fabricar la tapa, debido a que sobra material como se puede ver en la siguiente grafica. La parte que esta con rojo es el material que es utilizado para la capa externa y el resto es lo que se utiliza para la tapa.

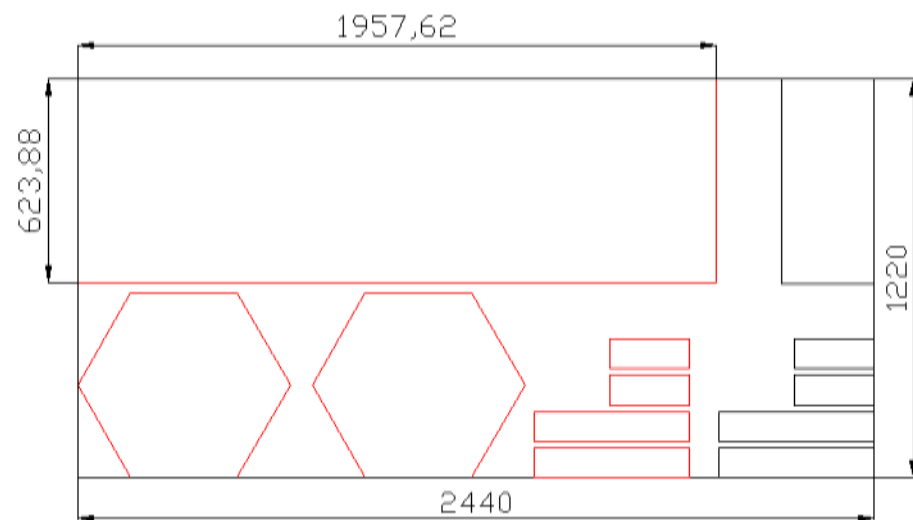


FIGURA 5.24. RAYADO DE LA TAPA EN PLANCHA DE ACERO INOXIDABLE 304

Árbol inyector

Las dos partes que conforman el árbol inyector deben ir soldadas al cuerpo a una distancia de 20 cm desde los cojinetes. Las uniones soldadas deben estar tanto en la parte externa de la capa exterior como en la parte interna del tambor. En total son cuatro uniones soldadas alrededor del árbol inyector. Como se escribió en el capítulo anterior la parte del árbol por donde ingresa el fluido refrigerante al tambor sobresaldrá hacia el interior 5 cm.

Estas uniones se las puede realizar mediante electrodos de acero inoxidable AWS E 308L – 16 (12) debido a la presión que debe soportar, y de esta forma obtener penetración llena, además de la resistencia a la tracción del electrodo de 85000 psi.

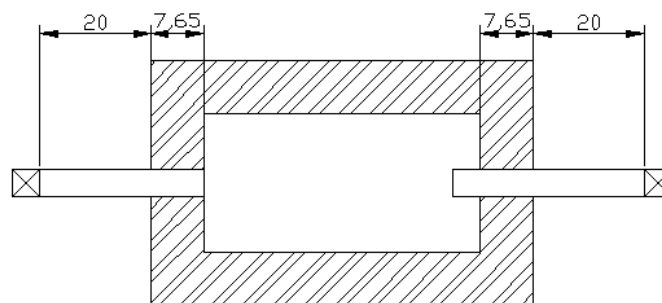


FIGURA 5.25. ESQUEMA DEL ARBOL INYECTOR CON EL CUERPO

Estructura Metálica

La estructura metálica de soporte como ya se demostró anteriormente su resistencia a la carga impuesta, debe también tener buenas uniones soldadas para obtener la rigidez requerida y de esta manera conseguir una larga duración.

En la estructura de soporte existen ocho juntas, por lo tanto debe haber ocho uniones soldadas, una en cada junta. Estas uniones se las puede realizar mediante electrodos celulósicos de acero AWS E 6011 (12) debido a la carga que debe soportar, y de esta forma obtener un arco muy estable y penetración llena, además de la resistencia a la tracción del electrodo de 68000 a 72000 psi.

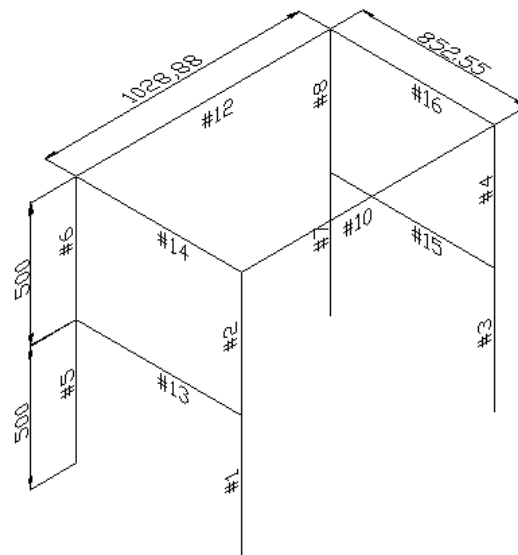
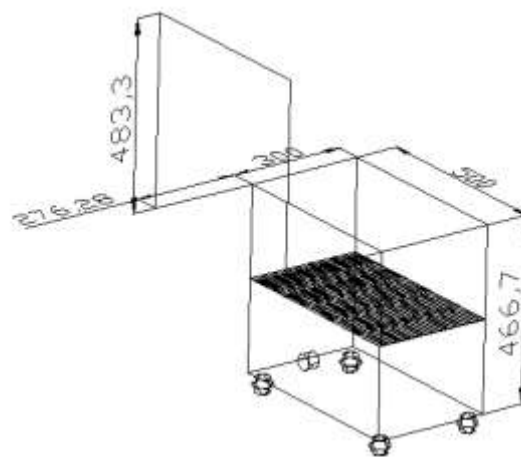


FIGURA 5.26. ENSAMBLE DE LA ESTRUCTURA DE SOPORTE

Cubeta de recolección

En la cubeta de recolección existen veinte uniones soldadas, ocho uniones para formar la caja, dos uniones para ensamblar el mango con la caja, dos uniones entre dos paredes paralelas de la caja y dos platinas para sostener la malla fina divisora, y ocho uniones para formar el mango de manipulación. Estas uniones se las puede realizar mediante electrodos de acero inoxidable AWS E 308L – 16 (12) debido al espesor de la plancha de 4 mm y de esta forma obtener penetración llena, además de la resistencia a la tracción del electrodo de 85000 psi.

En el siguiente grafico se demuestra que para la fabricación de la cubeta de recolección es suficiente utilizar media plancha comercial de 4mm que sobraría de la fabricación del tambor:



FIGUAR 5.27. ENSAMBLE DE LA CUBETA DE RECOLECCIÓN

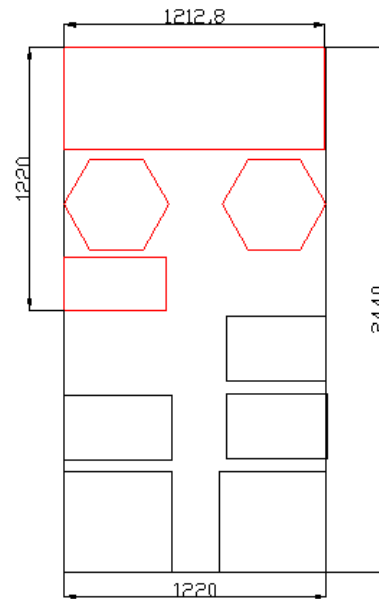


FIGURA 5.28. RAYADO DE LA CUBETA DE RECOLECCIÓN EN PLANCHA ACERO INOXIDABLE

5.8 Selección del Motor Eléctrico

El motor eléctrico a seleccionar es el que le dará el movimiento rotatorio a una velocidad angular (ω) a la máquina desbarbadora mediante un Torque (T).

El parámetro principal para seleccionar un motor eléctrico es conocer cual es la potencia necesaria para darle movimiento giratorio a alguna máquina. Para este caso la potencia que se necesita para mover el cuerpo es:

$$\text{Pot} = T * \omega * (1.05) \quad (59)$$

Donde:

$$\omega = 60 \text{ R.P.M.}$$

$$\omega = 6.2832 \text{ rad/seg}$$

$$T = 37.491 \text{ N*m}$$

$$\text{Pot} = 37.491 * 6.2832 * 1.05$$

$$\text{Pot} = 247.342 \text{ W}$$

$$\boxed{P \approx 0.37 \text{ KW}}$$

Entonces se selecciona un motor de 0.37 KW, el cual tiene las siguientes características comerciales de acuerdo a la tabla que se encuentra en el apéndice J:

TABLA 15

DATOS DEL MOTOR, VELOCIDAD SINCRÓNICA 1800 RPM, 60 HZ, NEMA DISEÑO B, TRABAJO CONTINUO, TEMPERATURA AMBIENTE 40°C Y HASTA 3300 PIES DE ELEVACIÓN

Tamaño de la Carcaza del Motor		56
Tasa de Potencia Nominal	HP	0.5
	Kw.	0.37
Carga Máxima	RPM	1700
Corriente a Máxima Carga	230 V (amp.)	2.15
	460 V (amp.)	1.08
	575 V (amp.)	0.86
Corriente de Bloqueo del Motor	230 V (amp.)	8.6
	460 V (amp.)	4.3
	575 V (amp.)	3.45
Torque a Máxima Carga	Lb-in	18.8
% Torque de Máxima Carga	Inicio	210
	Interrupción	230
Eficiencia (%)		62
Motor Wt. Lb.		15

Como se requiere una velocidad final de 60 R.P.M. se selecciona un motorreductor de ½ HP con una reducción de 30:1 que si existe en el mercado

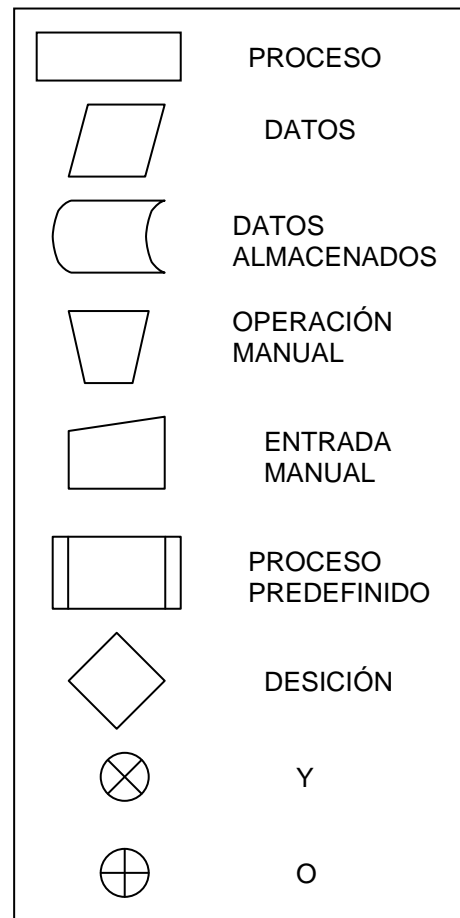
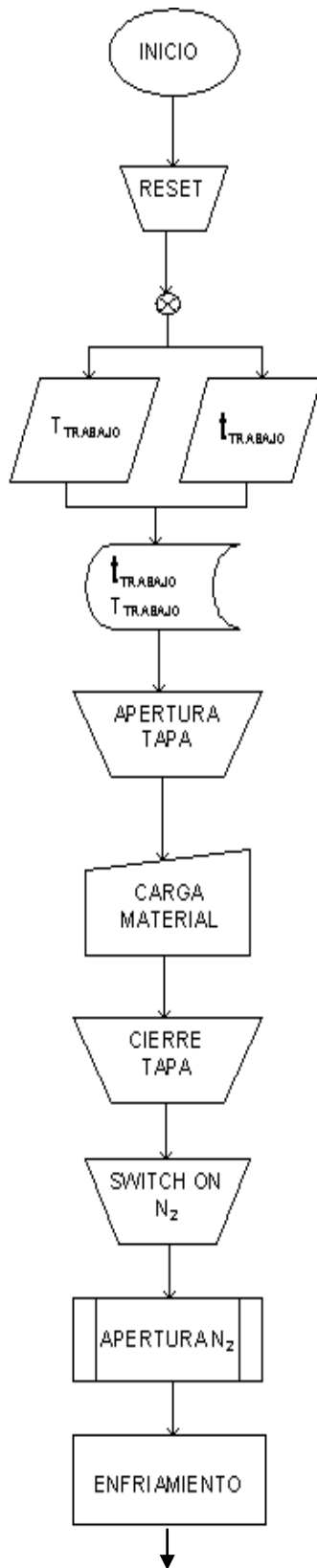
Selección del Sistema de Transmisión

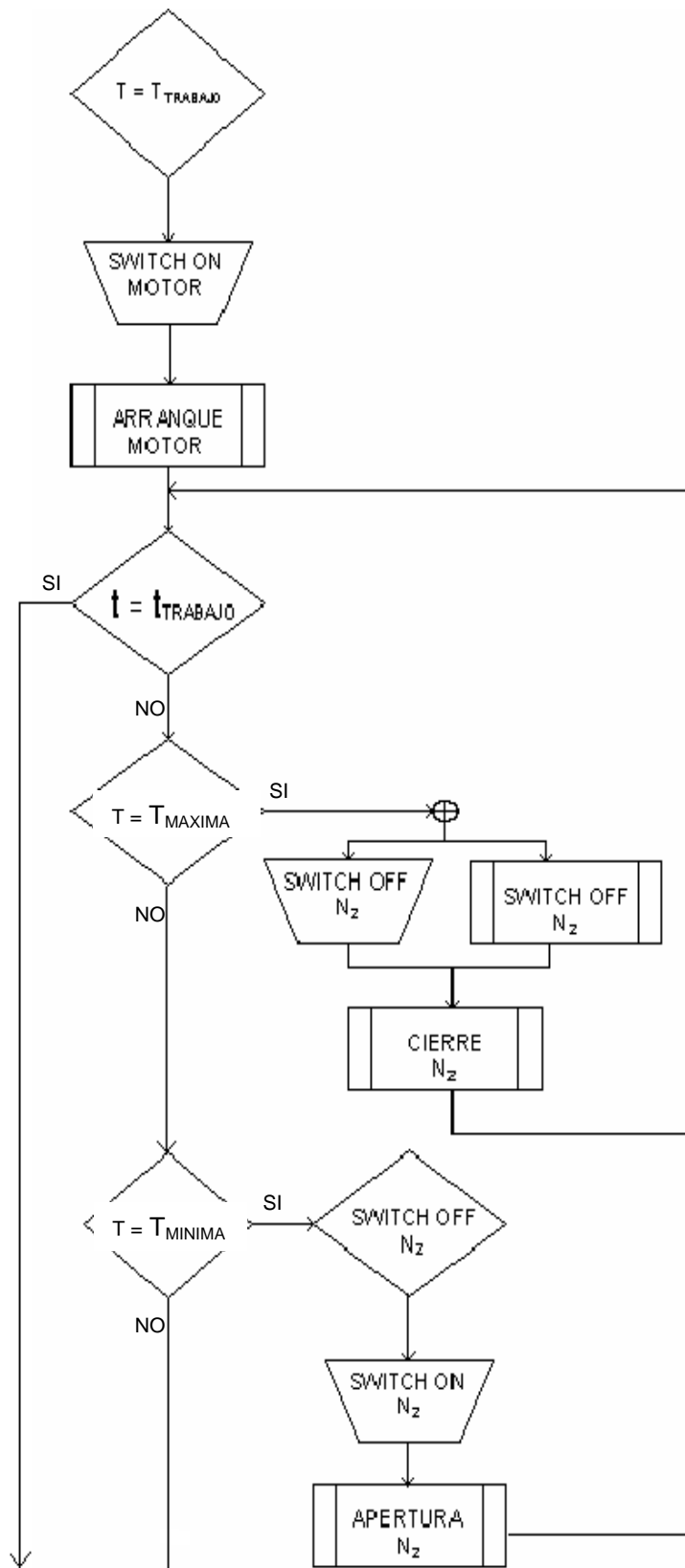
El sistema de transmisión para la máquina desbarbadora será mediante cadenas y catalinas, y el proceso de selección del sistema adecuado para el uso de la máquina es el siguiente:

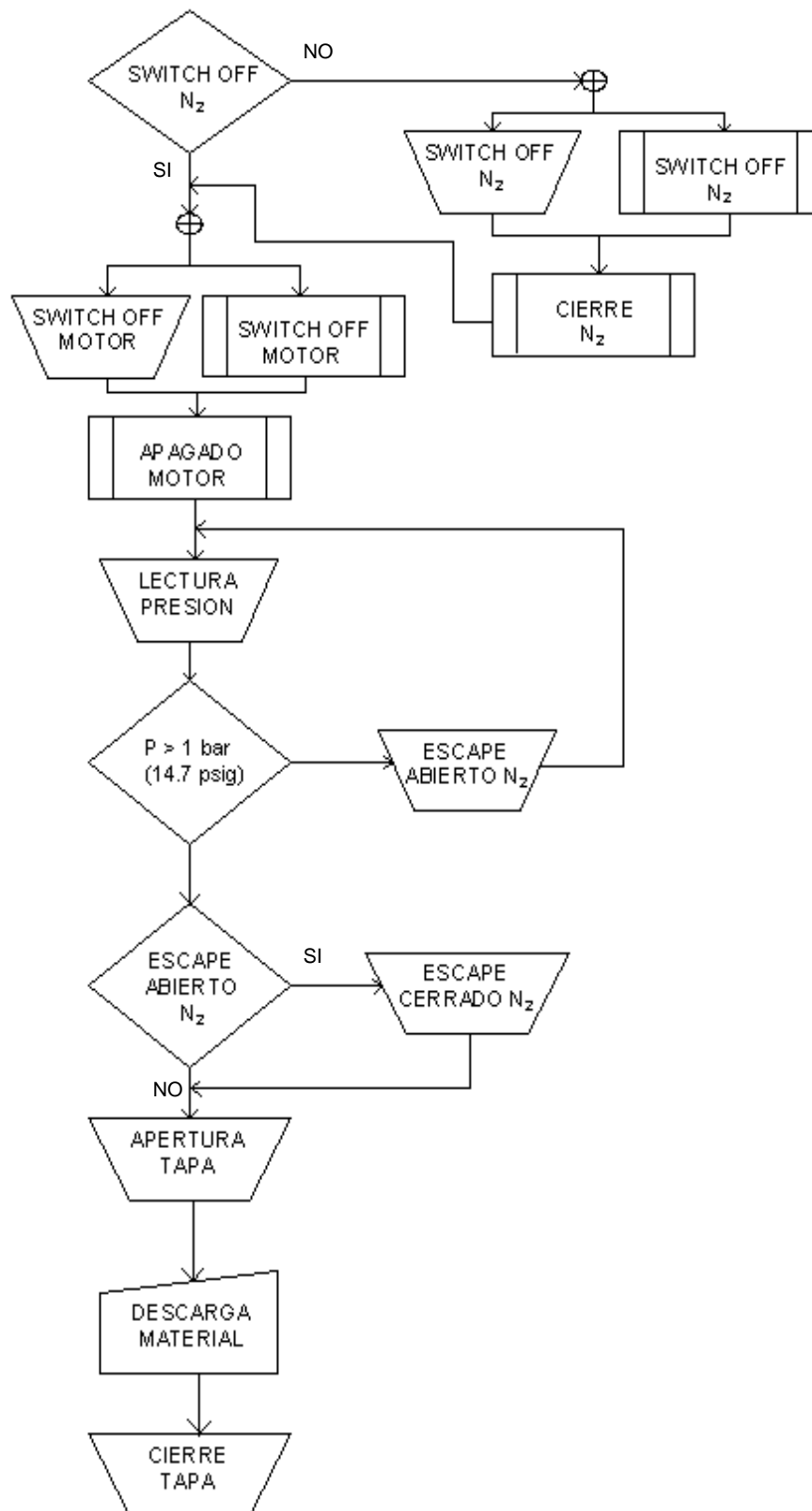
- 1) Se determina la sección transversal de banda referencial de la tabla 2 del apéndice K para ranuras de alta capacidad. Como el diseño de caballos de fuerza es 0.5 HP y las rpm del eje más rápido es 60 se elige una banda preferencial para ranuras de alta capacidad 3V.
- 2) Se revisa el diámetro mínimo de polea motriz de la tabla 4 del apéndice L. Como los caballos de fuerza es de 0.5 HP y las rpm 60 el diámetro mínimo de la polea motriz es 2.2 pulg. Pero como el diámetro del eje es 1.5 pulg, el diámetro mínimo no es conveniente por lo que se elige de la tabla par poleas de alta capacidad de una ranura del apéndice M una polea de diámetro 4.12 pulg
- 3) Como se requiere mantener la misma velocidad angular, entonces el diámetro de la polea en el eje impulsado será el mismo, es decir 4.12 pulg.

5.9 Selección de los Componentes de Control

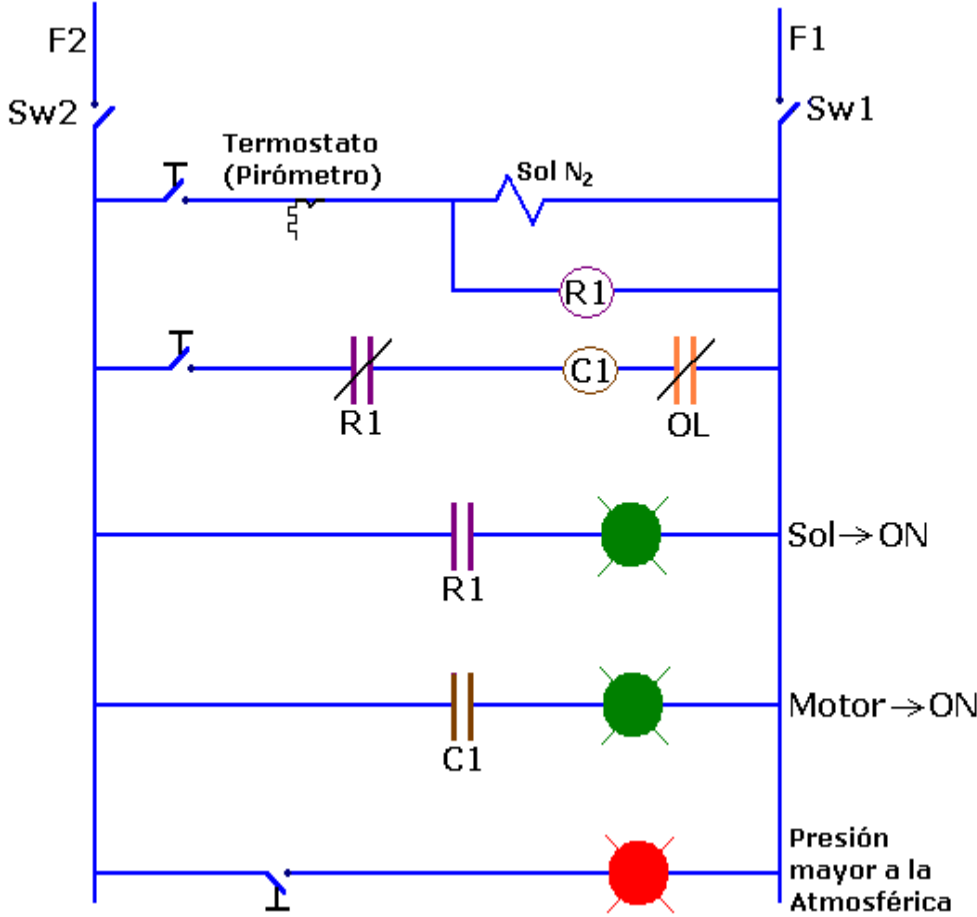
En la selección de componentes de control útiles para obtener un buen proceso de trabajo por parte de una máquina es necesario realizar un diagrama de flujo donde se exponga todos los pasos a seguir para la operación de la misma. Para el caso de esta máquina desbarbadora el diagrama de flujo es el siguiente:







Por lo tanto el sistema de control consta de la siguiente forma:



CAPÍTULO 6

6. ANALISIS DE COSTOS

El análisis mostrado a continuación, se realiza en base a la comparación de precios entre la Máquina de Desbarbado Criogénico construida aquí en el Ecuador según el diseño presentado en esta tesis de grado y una máquina importada de Estados Unidos, cuyas características son similares al diseño propuesto. Con esta comparación se podrá apreciar la diferencia en costos entre una y otra.

Los precios tabulados se obtienen de cotizaciones de materiales y piezas mecánicas que se pueden encontrar fácilmente en el mercado nacional, las cuales son necesarias para la construcción de las partes constitutivas de la Máquina de Desbarbado Criogénico.

COSTO DE MATERIALES Y PIEZAS MECÁNICAS

ÍTEM	DESCRIPCIÓN DEL ÍTEM	CANT.	COSTO UNIT.	COSTO ÍTEM
1	ACOPLE GIRATORIO AXIAL INOXIDABLE 1,5 pulg.	1 unid	\$ 50,00	\$ 50,00
2	ANGULO ASTM A36, 25x25x3 mm.	6 m	\$ 0,66	\$ 3,96
3	ANGULO ASTM A36, 50x50x3 mm.	6 m	\$ 1,38	\$ 8,28
4	BANDA 3V	1 m	\$ 20,00	\$ 20,00
5	BISAGRAS DE ACERO INOXIDABLE 3/4x3 pulg.	2 unid	\$ 15,00	\$ 30,00
6	EMPAQUE DE 20x20 mm	3 m	\$ 3,00	\$ 9,00
7	ESPUMA DE POLIURETANO IN SITU	0,1 m ³	\$ 50,00	\$ 5,00
8	MALLA FINA ACERO INOXIDABLE	1 unid	\$ 67,10	\$ 67,10
9	MANIJA DE ACERO INOXIDABLE	3 unid	\$ 7,00	\$ 21,00
10	MOTORREDUCTOR 0,37kW 60 RPM	1 unid	\$ 700,00	\$ 700,00
11	PLANCHA ASTM A-36 1220x2440x3 mm.	1 unid	\$ 70,10	\$ 70,10
12	PLANCHA DE ACERO INOXIDABLE 1220x2440x4 mm.	1 unid	\$ 214,60	\$ 214,60
13	PLANCHA DE ACERO INOXIDABLE 1220x2440x2,5 mm.	1 unid	\$ 130,00	\$ 130,00
14	PLATINA DE ACERO INOXIDABLE 3000x25x3 mm.	1 unid	\$ 8,50	\$ 8,50
15	PERNOS ½-13UNC-24 SAE 5.2 LONGITUD 1,5 pulg.	6 unid	\$ 0,60	\$ 3,60
16	POLEA DE UNA RANURA Ø 4,12 pulg.	2 unid	\$ 120,00	\$ 240,00
17	RODAMIENTO DE BOLAS NTN 7010	2 unid	\$ 240,30	\$ 480,60
18	RUEDAS GIRATORIAS Ø 50 mm	4 unid	\$ 6,82	\$ 27,28
19	TUBO DE ACERO INOXIDABLE Ø1,5 pulg. SCH 40	6 m	\$ 3,27	\$ 19,62
20	TUERCAS DE Ø 0,5 pulg.	6 unid	\$ 0,30	\$ 1,80
A) COSTO TOTAL MATERIALES:				\$ 2.110,44

El costo de mano de obra calificada mostrada a continuación, se realiza en base al valor detallado en la lista de sueldos de la cámara de la construcción incluyendo en el mismo, el costo del material y/o el equipo necesario para cada trabajo.

COSTO DE MANO DE OBRA CALIFICADA

ÍTEM	DESCRIPCIÓN DEL ÍTEM	CANT.	COSTO UNIT.	COSTO DEL ÍTEM
1	SOLDADURA ACERO INOXIDABLE CON ELECTRODO	11 m	\$ 30,00	\$ 330,00
2	SOLDADURA ACERO INOXIDABLE CON TIG	10 m	\$ 40,00	\$ 400,00
3	SOLDADURA ACERO ESTRUCTURAL	1 m	\$ 15,00	\$ 15,00
4	PRUEBA HIDROSTÁTICA	1	\$ 10,00	\$ 10,00
5	DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE MECÁNICO	1	\$ 3500,00	\$ 3500,00
B) COSTO TOTAL MANO DE OBRA:				\$ 4.255,00

El costo total que genera el diseño y la construcción de una Máquina de Desbarbado Criogénico en el Ecuador y con mano obrera nacional se detalla en la siguiente tabla:

COSTO TOTAL

A) MATERIALES	\$ 2.110,44
B) MANO DE OBRA CALIFICADA	\$ 4.255,00
	<hr/>
TOTAL GASTOS DIRECTOS	\$ 6.365,44
TOTAL GASTOS INDIRECTOS	\$ 954,82
TOTAL GASTOS TÉCNICO- ADMINISTRATIVOS	\$ 1.909,63
	<hr/>
TOTAL ANTES IVA	\$ 9.229,89
IVA 12%	\$ 1.107,59
	<hr/>
TOTAL PROYECTO	\$ 10.337,47

Cotizando una Máquina Desbarbadora Criogénica con las mismas características técnicas del diseño propuesto en esta tesis, las cuales son de las más comerciales, el costo de importación sería el siguiente:

COSTO DE MÁQUINA IMPORTADA

ÍTEM	DESCRIPCIÓN DEL ÍTEM	COSTO DEL ÍTEM	
1	COSTO DE MAQUINARIA	\$ 26.500,00	
2	TRANSPORTE	\$ 4.300,00	
3	COSTO CIF (Ítem 1+ Ítem 2)	\$ 30.800,00	
4	IMPUESTOS DE LEY:	5% AD VALOREM	\$ 1.540,00
		12% IVA	\$ 3.696,60
		0,01% VERIFICADORA	\$ 3,08
		1% SEGURO DE TRANSPORTE	\$ 308,00
		1% DESADUANIZACIÓN	\$ 308,00
COSTO FINAL		\$ 36.655,08	

Como se puede apreciar, el costo de la máquina importada es mayor a tres veces el valor que lo que costaría fabricar la misma máquina en el país. Por lo tanto, el análisis de costos del diseño propuesto en esta Tesis de Grado demuestra que es un proyecto rentable que se lo puede realizar con recursos humanos y tecnológicos nacionales.

CAPITULO 7

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. El diseño de esta máquina representa solo un prototipo, el cual no fue comprobado experimentalmente porque no se construyó un modelo real.
2. En el diseño de este tipo de máquina para desbarbado criogénico, cuya forma de sección transversal es hexagonal, se debe considerar al cuerpo como un cilindro hueco, ya que tiene como sección transversal un círculo que tiene infinitos lados.
3. Para el diseño del tambor rotatorio, no se analizó las aristas del cuerpo como puntos críticos, dándole un factor de seguridad alto para facilitar los cálculos requeridos.
4. En la selección del fluido de trabajo se consideró, de entre el nitrógeno líquido y el dióxido de carbono, cual de ellos tiene mayor poder de

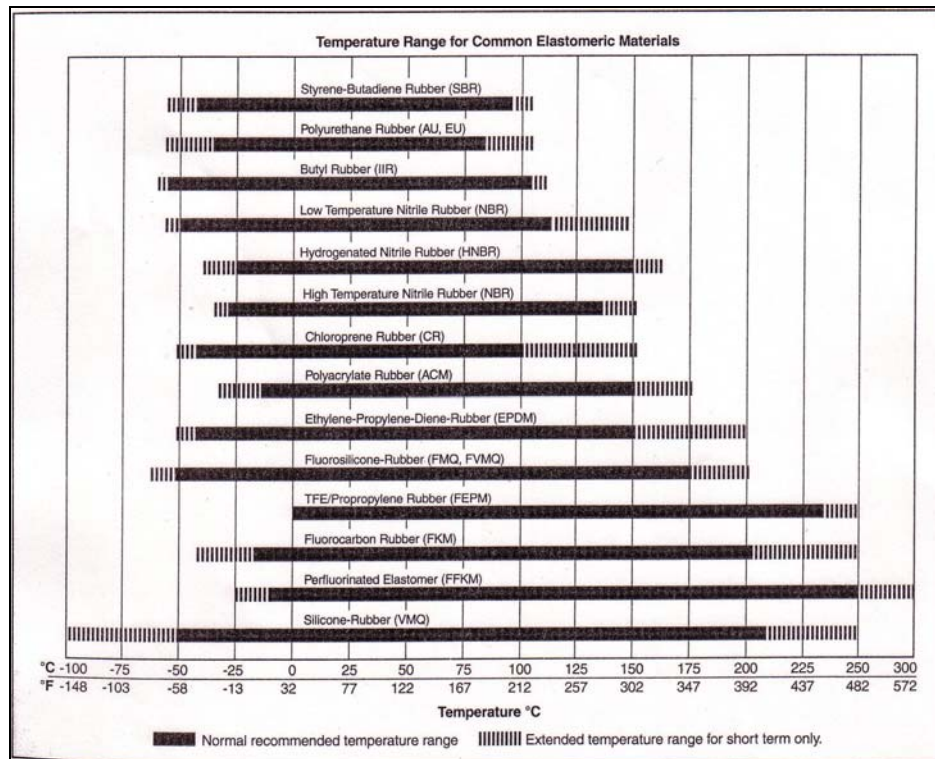
congelamiento con poca cantidad de masa, siendo el mas eficiente el nitrógeno.

5. En la selección de materiales para la construcción de la máquina se consideró tanto su resistencia a la corrosión, como su resistencia al impacto y altas presiones a bajas temperatura y el fácil mantenimiento.
6. En el análisis térmico para calcular el espesor adecuado de aislamiento para la máquina, solo se consideró la transferencia de calor radial más no la longitudinal en las aristas que representan mayor área.
7. Para la construcción de este prototipo de máquina para desbarbado criogénico, se deberá comprobar experimentalmente los resultados obtenidos mediante el cálculo, para conseguir un buen funcionamiento de la máquina.

APENDICE

APENDICE A

RANGOS DE TEMPERATURA DE DESBARBADO DE VARIOS ELASTÓMEROS



APÉNDICE B

CONSTANTES FÍSICAS DEL NITRÓGENO

	Unidades U. S.	Unidades SI
Formula Química	N ₂	N ₂
Peso Molecular	28.01	28.01
Densidad del gas a 70°F (21.1°C) y 1 atm (aire = 1)	0.072 lb/ ft ³	1.153 kg/m ³
Gravedad específica del gas a 70°F (21.1°C) y 1 atm (aire = 1)	0.967	0.967
Volumen específico del gas a 70°F (21.1°C) y 1 atm	13.89 ft ³ / lb	0.867 m ³ /kg
Densidad del líquido en punto de ebullición y 1 atm	50.47 lb/ ft ³	808.5 kg/m ³
Punto de ebullición a 1 atm	-320.4°F	-195.8°C
Punto de fundición a 1 atm	-345.8°F	-209.9°C
Temperatura Crítica	-232.4°F	-146.9°C
Presión Crítica	493 psia	3399kPa abs
Densidad Crítica	19.60 lb/ ft ³	314.9 kg/m
Punto Triple a 1.81 psia (12.5 kPa abs.)	-346.0°F	-210.0°C
Calor latente de vaporización en punto de ebullición	85.6 Btu/lb	199.1 KJ/ Kg
Calor latente de fusión en punto de fundición	11.1 Btu/lb	25.1Kj/kg
Calor específico del gas a 70°F (21.1°C) y 1 atm		
C _p	0.249 Btu/ (lb)(°F)	1.04 KJ/(Kg)(°C)
C _v	0.177 Btu/ (lb)(°F)	0.741 KJ/(Kg)(°C)
Relación de calores específicos, C _p /C _v	1.41	1.41
Solubilidad en agua vol/vol a 32°F (0°C)	0.023	0.023
Peso del liquido en el punto de ebullición	6.747 lb/ gal	808.5 kg/m ³
Relación Gas/liquido (gas a 70°F (21.1°C) y 1 atm, liquido a punto de ebullición, vol/ vol	696.5	696.5

APENDICE C
ASME VIII ADD 2003
PARTE ULT
REGLAS ALTERNATIVAS PARA ENVASES DE PRESIÓN CONSTRUIDOS
DE MATERIALES QUE TIENEN ESFUERZOS ALTOS ACEPTABLES A
BAJA TEMPERATURA
GENERAL

ULT-1 ALCANCE

Las reglas alternativas en parte ULT son aplicables presionar vasos o partes del vaso que se construyen de materiales para que aumentara los valores de tensión de plan se ha establecido para las aplicaciones de temperatura bajas. Cuando aplicado, estas reglas se usarán junto con los requisitos en la Subdivisión UN y Parte UW de Subdivisión B. excepto que Los requisitos de C de la Subdivisión no aplican cuando el referencia en parte ULT.

ULT-2 CONDICIONES DE SERVICIO

(a) se tomarán las Medidas para evitar las tensiones a cualquier temperatura que es más de la tensión aceptable máxima aplicable a esa temperatura. Por ejemplo, la tensión de la membrana a la presión del funcionamiento aceptable máxima a las 100°F (38°C) nunca excederá la tensión aceptable máxima para 100°F (38°C). Vea ULT-27.

(b) el uso del Vaso se restringirá específicamente a fluidos considerados para el plan del vaso. Las características físicas del fluido contenido serán tales que una temperatura que opera máxima puede determinarse para la fase líquida a la presión del funcionamiento aceptable máxima del vaso. La válvula de alivio de seguridad que pone la temperatura que opera máxima del vaso así a los mandos para el fluido específico.

(c) La tensión aceptable a las 100°F (38°C) se usará para el plan de partes del vaso que se exponen a la cabeza estática de fluido criogénico pero realmente no se avisan por el fluido, como, como en un muerto - el cilindro del nd conectó al fondo de un vaso que contiene un cojín de gas.

(d) el Aislamiento se aplicará externo al vaso de presión.

ULT-5 GENERAL

(a) Materiales cubiertos por esta Parte sujeto a la tensión debido a la presión conformarán a una de las especificaciones cedido la Sección II y se limitarán a aquéllos listados en la Mesa ULT-23. Los valores de tensión aceptables de Mesa que se limitan ULT-23 a esos materiales que estarán en el contacto con el líquido frío cuando sujeto a la cabeza de líquido.

(b) Materiales no cubiertos por Parte que ULT puede usarse para las partes del vaso, con tal de que los tales materiales conformarán a una de las especificaciones en la Sección II y se limitarán a esos materiales permitidos por otra Parte de Subdivisión C. La tensión aceptable máxima para las tales

partes se determinará a las 100°F (38°C). se encontrarán requisitos Todo aplicables de esa Parte de C de la Subdivisión incluyendo cualquiera requerido las pruebas de impacto.

(c) Los 5%, 8%, y 9% aceros de níquel listaron en la Mesa ULT-23 se probará para la ductilidad de la muesca como requerido por UHT-5(d) y (e) y UHT-6. Éstos que se dirigirán las pruebas de ductilidad a la temperatura más baja a que se aplicará la presión al vaso o la temperatura aceptable mínima ser marcado en el vaso, quienquiera es más bajo.

(d) Para 5083 aluminio los comestibles y requisitos de UNF-65 para el funcionamiento de temperatura bajo aplican.

(e) Para 5%, 8%, y 9% vasos de acero de níquel, ataduras todo estructurales y anillos atiesando que se sueldan para presionar las partes directamente se hará de materiales de igual de fuerza mínimo especificado a o mayor que el del material a que ellos se atan.

(f) El weldments de Tipo 304 acero limpio será impacto de Charpy probado como requerido por UG-84(h), sólo que el fo de las exenciones que UHA-51 no aplican. Estas pruebas de impacto se dirigirán a la temperatura más baja a que se aplicará la presión al vaso o la temperatura aceptable mínima ser marcado en el vaso, quienquiera es más bajo. La expansión lateral mínima aplicable opuesto la muesca para todos los tamaños del espécimen será como requerido en UHT-6(a)(3) y (el a)(4). Todos los requisitos de UHT-6(a)(3) y (el a)(4) aplicará.

(g) Para el Tipo se harán 304 vasos de acero limpios, ataduras todas estructurales y anillos atiesando que se sueldan para presionar las partes directamente del mismo material como la parte de presión a que ellos se atan.

DISEÑO

ULT-16 GENERAL

(a) Las reglas en los párrafos siguientes aplican específicamente al plan de vasos de presión y partes del vaso que se construyen de materiales listado en la Mesa ULT-23 y se usarán junto con los requisitos para el Plan en la Subdivisión UN y Parte UW de Subdivisión B.

(1) las tensiones termales que son el resultado de las diferencias entre el metal bajo y el metal de la soldadura será considerado en el plan.

(2) para vasos hechos de 5%, 8%, y 9% aceros de níquel, el espesor mínimo después de formar de una sección sujeto a la presión será 3/16 en. (4.8 mm) y entonces el espesor máximo del metal bajo a las soldaduras será 2 en. (51 mm).

ULT-17 JUNTAS SOLDADAS

(a) Toda la Categoría UN, B, C, y juntas de D (UW-3) será las soldaduras de penetración llenas.

(b) La alineación de juntas longitudinales en secciones cilíndricas adyacentes o cabezas se cambiará de sitio cinco veces por lo menos el espesor del material más espeso.

(c) En los vasos de 5%, 8%, o 9% aceros de níquel, toda la Categoría que las juntas de D estarán de acuerdo con el Fig. UHT-18.1 o UHT-18.2 cuando el espesor de la cáscara nominal a la apertura excede 1 en. (25 mm).

(1) todas las juntas de Categoría D que ata un cuello de la boquilla a la pared del vaso, y a una almohadilla reforzando si usó, será soldadura de ranura de penetración llena que conforma al Fig. UHT-18.1 o Fig. UHT-18.2 o cualquiera de los bocetos en el Fig. UW-16 que tiene las soldaduras de penetración llenas.

(2) todas las juntas de Categoría UN será el Tipo No. (1) de Mesa UW-12.

(3) todas las juntas de Categoría B será el Tipo No. (1) o (2) de Mesa UW-12.

(4) todas las juntas de C de la Categoría serán la penetración llena suelda extendiéndose a través de la sección entera a la junta.

(5) se reunirán requisitos de alineación de junta de UHT-20.

(d) el Extremo suelda con un borde del plato compensado [el Fig. UW - 13.1 boceto (k)] se prohíbe en cualquier parte en el vaso.

ULT-18 BOQUILLAS OTRAS CONEXIONES

(a) no se localizarán las Boquillas en la Categoría UN o juntas de B. Cuando adyacente a la Categoría UN o juntas de B, el borde más cercano de la soldadura del boquilla-a-cáscara será por lo menos cinco veces el espesor nominal de la cáscara del borde más cercano de la Categoría UN o junta de B.

(b) La atadura de cañería y boquilla besa a las paredes del vaso sólo estará por la construcción soldada.

ULT-23 VALORES DE ESFUZZOS MÁXIMOS ACEPTABLES

Mesa que ULT-23 da que la tensión aceptable máxima valora a las temperaturas indicadas para materiales que conforman a las especificaciones listados en eso. Pueden interpolarse los valores por las temperaturas del intermedio (vea UG-23).

ULT-27 ESPESOR DEL ARMAZON

El espesor mínimo de cualquier parte del vaso será el mayor de lo siguiente:

(a) el espesor basó en el MAWP a la cima del vaso en su posición que opera normal más cualquier otra carga por UG-22, incluso la cabeza estática del líquido criogénico más denso para ser contenido. El valor de tensión permisible se determinará para el material aplicable en la Mesa ULT-23 a la temperatura que opera que corresponde a la temperatura de saturación a

MAWP del fluido criogénico más caluroso contuvo. La tensión del compresivo aceptable máxima se determinará de acuerdo con UG - 3(b) a las 100°F (38°C) y los requisitos de UG-23(c) se reunirán.

(b) el espesor determinado usando el valor de tensión permisible a las 100°F (38°C) basado en el MAWP a la cima del vaso en su posición que opera normal más cualquier otra carga por UG-22, sólo que ninguna necesidad de cabeza estática sea incluida.

TABLE ULT-23
 MAXIMUM ALLOWABLE STRESS VALUES IN TENSION FOR 5%, 8%, AND 9% NICKEL STEELS, TYPE 304 STAINLESS STEEL,
 AND 5083-0 ALUMINUM ALLOY AT CRYOGENIC TEMPERATURES FOR WELDED AND NONWELDED CONSTRUCTION

Temperature, ¹ °F	5% Nickel Steels, Customary Units			8% and 9% Nickel Steels, Customary Units			
	Plates: SA-645 ²			Plates: ² SA-353, SA-553 Type I, and SA-553 Type II Seamless Pipes and Tubes: SA-333 Grade 8 and SA-334 Grade 8 Forgings: SA-522			
	Nonwelded Construction, ksi	UTS 100 ksi	Welded Construction ^{3,4} UTS 95 ksi	Temperature, ¹ °F	Nonwelded Construction, ksi	UTS 100 ksi	UTS 95 ksi
-320	43.1	38.9	36.9	-320	43.9	38.9	36.9
-300	39.4	37.9	36.1	-300	42.6	37.9	36.1
-250	37.0	36.3	34.6	-250	39.8	36.3	34.6
-200	36.0	35.0	33.3	-200	37.3	35.0	33.3
-150	34.5	33.5	31.8	-150	35.1	33.5	31.8
-100	32.9	32.1	30.5	-100	33.2	32.1	30.5
-50	31.3	31.0	29.5	-50	31.6	31.0	29.5
0	27.1	27.1	27.1	0	28.6	28.6	27.1
100	27.1	27.1	27.1	100	28.6	28.6	27.1

Type 304 Stainless Steel, Customary Units

Spec. No.	Grade	Specified Minimum Strengths at Room Temperature		Maximum Allowable Stress, ksi, for Temperatures, ¹ °F, Not Exceeding							
		Tensile, ksi	Yield, ksi								
				-320	-200	-150	-50	0	100		
SA-240 nonwelded construction	304	75.0	30.0	35.5	33.4	31.7	29.7	27.5	25.3	20.0	20.0
SA-240 welded construction	304	75.0	30.0	23.6	23.4	22.8	22.4	22.1	21.8	20.0	20.0

Table continues on following page

TABLE ULT-23
 MAXIMUM ALLOWABLE STRESS VALUES IN TENSION FOR 5%, 8%, AND 9% NICKEL STEELS, TYPE 304 STAINLESS STEEL,
 AND 5083-0 ALUMINUM ALLOY AT CRYOGENIC TEMPERATURES FOR WELDED AND NONWELDED CONSTRUCTION (CONT'D)

Spec. No.	Alloy	Temper	Thickness, in.	Specified Minimum Strengths at Room Temperature		Maximum Allowable Stress, ksi, for Metal Temperature, ¹ °F, Not Exceeding									
				Tensile, ksi	Yield, ksi	-320	-300	-250	-200	-150	-100	-50	0	100	
Sheet and Plate															
SB-209	5083	0	0.051-1.500	40	18	15.6	15.3	14.5	13.8	13.1	12.5	12.1	11.4	11.4	
			1.501-3.000	39	17	14.7	14.4	13.7	13.0	12.4	11.8	11.5	11.1	11.1	
			3.001-5.000	38	16	13.9	13.6	12.9	12.2	11.6	11.1	10.8	10.7	10.7	
			5.001-7.000	37	15	13.0	12.7	12.1	11.5	10.9	10.4	10.1	10.0	10.0	
			7.001-8.000	36	14	12.1	11.9	11.3	10.7	10.2	9.7	9.4	9.3	9.3	
Rods, Bars, and Shapes															
SB-221	5083	0	Up thru 5.000	39	16	13.9	13.6	12.9	12.2	11.6	11.1	10.8	10.7	10.7	
Seamless Extruded Tube															
SB-241	5083	0	Up thru 5.000	39	16	13.9	13.6	12.9	12.2	11.6	11.1	10.8	10.7	10.7	

Table continues on following page

TABLE ULT-23
 MAXIMUM ALLOWABLE STRESS VALUES IN TENSION FOR 5%, 8%, AND 9% NICKEL STEELS, TYPE 304 STAINLESS STEEL,
 AND 5083-0 ALUMINUM ALLOY AT CRYOGENIC TEMPERATURES FOR WELDED AND NONWELDED CONSTRUCTION (CONT'D)

5% Nickel Steels, SI Units		8% and 9% Nickel Steels, SI Units	
Plates: SA-645 ²		Plates: ² SA-353, SA-553 Type I, and SA-553 Type II Seamless Pipes and Tubes: SA-333 Grade 8 and SA-334 Grade 8 Forgings: SA-522	
Temperature, ¹ °C	Nonwelded Construction, MPa	Welded Construction ³⁴	
		UTS 689 MPa	UTS 655 MPa
-196	260	234	223
-184	238	229	218
-156	223	219	209
-129	217	211	201
-101	208	202	192
-73	199	194	184
-46	189	187	178
-18	163	163	163
38	163	163	163
Temperature, ¹ °C	Nonwelded Construction, MPa	Welded Construction ³⁴	
		UTS 689 MPa	UTS 655 MPa
-196	265	234	223
-184	256	229	218
-156	240	219	209
-129	225	211	201
-101	211	202	192
-73	200	194	184
-46	191	187	178
-18	172	172	163
38	172	172	163

Type 304 Stainless Steel, SI Units

Spec. No.	Grade	Specified Minimum Strengths at Room Temperature		Maximum Allowable Stress, MPa, for Temperatures, ¹ °C, Not Exceeding							
		Tensile, MPa	Yield, MPa	-196	-156	-129	-101				
SA-240	304	517	207	143	142	138	136	134	132	130	130

Table continues on following page

TABLE ULT-23
 MAXIMUM ALLOWABLE STRESS VALUES IN TENSION FOR 5%, 8%, AND 9% NICKEL STEELS, TYPE 304 STAINLESS STEEL,
 AND 5083-O ALUMINUM ALLOY AT CRYOGENIC TEMPERATURES FOR WELDED AND NONWELDED CONSTRUCTION (CONT'D)

Spec. No.	Alloy	Temper	Thickness, mm	Specified Minimum Strengths at Room Temperature		Maximum Allowable Stress, MPa, for Metal Temperature, ¹ °C, Not Exceeding							
				Tensile, MPa	Yield, MPa	-196	-184	-156	-129	-101	-73	-46	-18
Sheet and Plate													
SB-209	5083	0	1.30–38.10	276	124	92	91	83	76	72	70	69	69
			38.13–76.20	269	117	87	86	81	74	70	68	68	67
			76.23–127.00	262	110	82	81	79	72	68	66	66	66
			127.03–177.80	255	103	77	76	74	70	66	65	64	63
			177.83–203.20	248	97	72	71	69	67	64	63	62	62
Rods, Bars, and Shapes													
SB-221	5083	0	Up thru 127.00	269	110	82	81	79	74	70	68	68	67
Seamless Extruded Tube													
SB-241	5083	0	Up thru 127.00	269	110	82	81	79	74	70	68	68	67

NOTES:

- (1) Stress values at intermediate temperatures may be interpolated.
- (2) Minimum thickness after forming any section subject to pressure shall be $\frac{3}{16}$ in. (4.8 mm), and maximum thickness of the base metal at welds shall be 2 in. (51 mm).
- (3) The minimum tensile strength of the reduced tension specimen in accordance with QW-462.1 shall not be less than 100 ksi (689 MPa) or 95 ksi (655 MPa), respectively, at room temperature. Choice of UTS depends on welding process and filler metal used in the construction.
- (4) Welded construction allowable stresses apply only to butt joints.

ULT-28 EL ESPESOR DE ARMAZONES BAJO PRESIÓN EXTERNA

(a) las cáscaras Cilíndricas y esféricas bajo la presión externa serán diseñadas por las reglas en UG-28 que usa las figuras aplicables en Subapartado 3 de Sección II, Parte D a las 100°F (38 °C).

(b) se dan Ejemplos que ilustran el uso de los mapas en las figuras para el plan de vasos bajo la presión externa en el Apéndice L.

ULT-29 ANILLOS ENDURECIDOS PARA ARMAZONES BAJO PRESIÓN EXTERNA

Se dan reglas que cubren el plan de atiesar los anillos en UG-29. El plan será basado en el mapa apropiado en Subapartado 3 de Sección II, Parte D para el material usado en el anillo a las 100 °F (38 °C).

ULT-30 UNIONES ESTRUCTURALES

(a) Vea ULT-5(g) para las limitaciones en material usado en las ataduras estructurales permanentes en 5%, 8%, o 9% vasos de acero de níquel. Vea ULT-5(g) para las limitaciones en material usado en las ataduras estructurales permanentes en el Tipo 304 vasos de acero limpios.

(b) se darán Los detalles estructurales de agarraderas de apoyo, anillos, sillas de montar, correas, y otros tipos de apoyos la consideración del plan especial para minimizar las tensiones locales en las áreas de la atadura.

(c) las Ataduras a 5%, se harán 8%, o 9% vasos de acero de níquel usando un procedimiento de la soldadura calificado a la Sección IX.

(d) se harán Ataduras para Teclear 304 vasos de acero limpios usando un procedimiento de la soldadura que se encuentra ULT-82.

ULT-56 TRATAMIENTO TERMICO POST SOLDADURA

(a) Para 5%, 8%, o 9% aceros de níquel, los comestibles de UHT-56, UHT-80, y UHT-81 aplican.

(b) Para 5083 aluminio, los comestibles de UNF-56 aplican.

(c) Para el Tipo 304 vasos de acero limpios, los comestibles de UHA-32 aplican

ULT-57 EXAMINACION

(a) Todas las juntas del extremo se examinarán por 100% radiografía, exceptúe como permitido en UW - 1(a)(7).

(b) Toda la atadura suelda, y todos soldaron las juntas sujeto a presión no examinada por radiografía o la comprobación ultrasónica, o se dará un examen del penetrante líquido antes o después del hidrottest. Las indicaciones pertinentes son aquéllos que el resultado de las imperfecciones. Cualquier indicación lineal pertinente mayor que 1.16 en. (1.6 mm) se reparará o se quitará. Cuando una prueba neumática se dirige de acuerdo

con ULT-100, estos exámenes del penetrant líquidos se realizarán anterior a la prueba neumática.

(c) Para 5083 aluminio, los requisitos de UNF - 91 aplican.

FABRICACIÓN

ULT-75 GENERAL

Las reglas en los párrafos siguientes aplican específicamente a la fabricación de vasos de presión y partes del vaso que se construyen a esta Parte y se usarán junto con los requisitos para la fabricación en la Subdivisión UN y Parte UW de Subdivisión B.

ULT-79 FORMACION DE SECCIONES DE ARMAZON Y CABEZAS

Los requisitos y limitaciones de UNF-77 solicitan 5083 aluminio, y de UHT-79 para 5%, 8%, o 9% acero de níquel.

ULT-82 SOLDADURA

(a) UNA calificación de procedimiento de soldadura separada se hará, como prescrito en la Sección IX, Parte QW, sólo que la calificación del procedimiento prueba en espécimenes de tensión que conforman a QW-462.1 y prescribió en QW - 451 serán cuatro en el número dos de que cuando probó a la temperatura del cuarto reunirá los requisitos de fuerza tensores mínimos para la temperatura del cuarto como listado en la Mesa

ULT-82 y dos de que cuando probó a o debajo del vaso la temperatura aceptable mínima reunirá los requisitos de fuerza tensores mínimos para esa temperatura de la prueba como listado en la mesa aplicable, sólo que los requisitos para las dos pruebas al vaso no se aplicará la temperatura aceptable mínima a la calificación del procedimiento para 5083 aluminio soldado con 5183 metal del relleno aluminio.

(b) Para 5%, 8%, o 9% aceros de níquel, los comestibleses de UHT-82, UHT-83, UHT-84, y UHT-85 aplican.

TABLE ULT-82
 MINIMUM TENSILE STRENGTH REQUIREMENTS FOR WELDING PROCEDURE QUALIFICATION TESTS
 ON TENSION SPECIMENS CONFORMING TO QW-462.1

Temp., ¹ °F	SA-645, Customary Units		SA-353, SA-553 Types I and II, SA-333 Grade 8, SA-334, SA-522, Customary Units		5083-O Aluminum Alloy, Customary Units																	
	Welded Construction		Welded Construction		Spec. No.	Thickness, in.	Minimum Tensile Strength, ksi, for Metal Temperature, ¹ °F, Not Exceeding				0	100										
	UTS 100 ksi	UTS 95 ksi	UTS 100 ksi	UTS 95 ksi			-320	-250	-200	-150			-100									
-320	136	129	136	129	Sheet and Plate																	
-300	133	126	133	126																		
-250	125	121	125	121																		
-200	122	116	122	116										55.2	53.3	48.2	43.8	41.4	40.4	40	40	
	117	111	117	111										53.8	52	47	42.7	40.4	39.4	39.1	39	
	112	107	112	107										52.5	50.7	45.8	41.6	39.4	38.4	38.1	38	
-150														51.1	49.3	44.6	40.5	38.3	37.4	37.1	37	
-100														49.7	48	43.4	39.4	37.3	36.4	36.1	36	
- 50	108	103	108	103										Rods, Bars, and Shapes								
0	95	95	100	95																		
100	95	95	100	95																		
					SB-221	Up thru 5.000	53.8	52	47	42.7	40.4	39.4	39.1	39								
					Seamless Extruded Tube																	
					SB-241	Up thru 5.000	53.8	52	47	42.7	40.4	39.4	39.1	39								

Type 304 Stainless Steel, Customary Units

Spec. No.	Minimum Tensile Strength, ksi, for Metal Temperature, ¹ °F, Not Exceeding			
	-320	-250	-200	-150
SA-240	82.7	82.1	80.9	79.7
				78.5
				77.4
				76.2
				75.0

Table continues on following page

TABLE ULT-82
 MINIMUM TENSILE STRENGTH REQUIREMENTS FOR WELDING PROCEDURE QUALIFICATION TESTS
 ON TENSION SPECIMENS CONFORMING TO QW-462.1 (CONT'D)

Temp., ¹ °C		SA-353, SA-553 Types I and II, SA-333 Grade 8, SA-334, SA-522, SI Units			5083-0 Aluminum Alloy, SI Units											
		Welded Construction			Minimum Tensile Strength, MPa, for Metal Temperature, ¹ °C, Not Exceeding											
		UTS 689 MPa	UTS 655 MPa	UTS 689 MPa	UTS 655 MPa	Spec. No.	Thickness, mm	-196	-184	-156	-129	-101	-73	-46	-18	38
-196		938	889	938	889		Sheet and Plate									
-184		917	869	917	869											
-156		862	834	862	834		SB-209	1.30-38.10	381	368	332	302	285	279	276	276
								38.13-76.20	371	359	324	294	279	272	270	269
-129		841	800	841	800			76.23-127.00	362	350	316	287	272	265	262	262
-101		807	765	807	765			127.03-177.80	352	340	308	279	264	258	256	255
-73		772	738	772	738			177.83-203.20	343	331	299	272	257	251	249	248
-46		745	710	745	710		Rods, Bars, and Shapes									
-18		655	655	689	655											
38		655	655	689	655		SB-221	Up thru 127.00	371	358	324	294	279	272	270	269
							Seamless Extruded Tube									
							SB-241	Up thru 127.00	371	358	324	294	279	272	270	269

Type 304 Stainless Steel, SI Units

		Minimum Tensile Strength, MPa, for Metal Temperature, ¹ °C, Not Exceeding					
Spec. No.	-196	-184	-156	-129	-101	-73	38
SA-240	570	566	558	550	541	534	517

NOTE:
 (1) Strength values at intermediate temperatures may be interpolated.

(c) Para el Tipo 304 vasos de acero limpios, los comestibleses siguientes aplican.

(1) se limitan los procesos de la soldadura que pueden usarse gasear el arco de metal, el arco de tungsteno de gas, y sumergieron el arco.

(2) metal del relleno se limita a SFA-5.9, Clasificaciones de AWS ER308L y ER308L(Si). El metal del relleno conformará al SFA especificó los límites de composición de porcentaje.

(3) una determinación de ferrita del delta de cada porción de metal del relleno se hará por el uso del análisis químico de (el c)(2) sobre, junto con el Fig. ULT-82. Adicionalmente, para el arco sumergido suelda, una determinación de ferrita del delta se hará junto con el Fig. ULT-82, por el uso del análisis químico de muchos electrodo y flujo usado para las soldaduras de la producción. La ferrita del delta aceptable no estará menos de 6 FN ni mayor que 14 FN.

ULT-86 SEÑALIZACION EN PLACA Y OTROS MATERIALES

Para 5%, 8%, o 9% acero de níquel los requisitos de UHT-86 aplican. Para el uso de otras señales en lugar de estampar, vea UG-77(b).

INSPECCIÓN Y PRUEBAS

ULT-90 GENERAL

Los comestibles es para la inspección y probando en las Subdivisiones UN y B aplicará a los vasos y partes del vaso construidas de materiales cubiertos por esta Parte, exceptúe como modificado aquí dentro.

ULT-99 PRUEBA HIDROSTÁTICA

El vaso será presión del hydrostatically probada a la temperatura ambiente en la posición que opera para un mínimo de 15 min, usando los requisitos siguientes de (un) o (b), quienquiera es aplicable.

(a) Salvo vasos cubiertos por (b) debajo de, una prueba hidrostática se realizará de acuerdo con UG - 99, sólo que la proporción de tensiones no es aplicada, y la presión de la prueba estará por lo menos 1.4 veces la presión del plan en las 100°F (38°C).

(b) Cuando el procedimiento de la prueba en (un) sobre causará una tensión de la membrana nominal mayor que 95% de fuerza del rendimiento mínima especificada o 50% de fuerza tensor mínima especificada del material en cualquier parte del vaso, la prueba hidrostática puede dirigirse a una presión a que limita la tensión de la membrana nominal a la tal parte el menor de esos valores. Cuando estas condiciones limitan la presión de la prueba hidrostática a un valor menos de 110% de la presión del funcionamiento

aceptable máxima a las 100°F (38°C), una prueba neumática de acuerdo con ULT-100 también se dirigirá.

(c) pueden probarse Vasos que serán instalados en la posición vertical en la posición horizontal proporcionada todos los componentes del vaso están hydrostatically no probados para un mínimo de 15 min a una presión menos de 1.4 veces la presión del plan en las 100°F (38°C) más el equivalente de la cabeza del líquido de la prueba en la posición que opera.

ULT-100 PRUEBA NEUMÁTICA

(a) UNA prueba neumática prescrita en este párrafo puede usarse en lugar de la prueba hidrostática prescrita en ULT-99 para vasos que son cualquiera:

(1) para que diseñó y/o apoyó que ellos no pueden llenarse seguramente del agua, o

(2) no se seca prontamente, y se usará en servicios dónde remontan de probar el líquido no puede tolerarse.

(b) El vaso se probará a la temperatura ambiente para un mínimo de 15 min.

(c) La prueba neumática se realizará de acuerdo con UG-100, sólo que la proporción de tensiones no es aplicada, y la presión de la prueba estará por lo menos 1.2 veces la presión interior en las 100°F (38°C). En ningún caso la presión de la prueba neumática debe exceda 1.2 veces la base para la presión de la prueba calculada como definido en Apéndice 3, el para. 3-2.

APENDICE D

TABLA 14-1 Dimensiones principales de las roscas de tornillo Unified National Standard

Datos calculados de las ecuaciones 14.1—Véase la referencia 3 para mayor información

Tamaño	Diámetro mayor d (in o pulg)	Roscas bastas—UNC			Roscas finas—UNF		
		Hilos por pulgada	Diámetro menor d_r (in)	Área de esfuerzo a tensión A_t (in ²)	Hilos por pulgada	Diámetro menor d_r (in)	Área de esfuerzo a tensión A_t (in ²)
0	0.0600	—	—	—	80	0.0438	0.0018
1	0.0730	64	0.0527	0.0026	72	0.0550	0.0028
2	0.0860	56	0.0628	0.0037	64	0.0657	0.0039
3	0.0990	48	0.0719	0.0049	56	0.0758	0.0052
4	0.1120	40	0.0795	0.0060	48	0.0849	0.0066
5	0.1250	40	0.0925	0.0080	44	0.0955	0.0083
6	0.1380	32	0.0974	0.0091	40	0.1055	0.0101
8	0.1640	32	0.1234	0.0140	36	0.1279	0.0147
10	0.1900	24	0.1359	0.0175	32	0.1494	0.0200
12	0.2160	24	0.1619	0.0242	28	0.1696	0.0258
1/4	0.2500	20	0.1850	0.0318	28	0.2036	0.0364
5/16	0.3125	18	0.2403	0.0524	24	0.2584	0.0581
3/8	0.3750	16	0.2938	0.0775	24	0.3209	0.0878
7/16	0.4375	14	0.3447	0.1063	20	0.3725	0.1187
1/2	0.5000	13	0.4001	0.1419	20	0.4350	0.1600
9/16	0.5625	12	0.4542	0.1819	18	0.4903	0.2030
5/8	0.6250	11	0.5069	0.2260	18	0.5528	0.2560
3/4	0.7500	10	0.6201	0.3345	16	0.6688	0.3730
7/8	0.8750	9	0.7307	0.4617	14	0.7822	0.5095
1	1.0000	8	0.8376	0.6057	12	0.8917	0.6630
1 1/8	1.1250	7	0.9394	0.7633	12	1.0167	0.8557
1 1/4	1.2500	7	1.0644	0.9691	12	1.1417	1.0729
1 3/8	1.3750	6	1.1585	1.1549	12	1.2667	1.3147
1 1/2	1.5000	6	1.2835	1.4053	12	1.3917	1.5810
1 3/4	1.7500	5	1.4902	1.8995			
2	2.0000	4.5	1.7113	2.4982			
2 1/4	2.2500	4.5	1.9613	3.2477			
2 1/2	2.5000	4	2.1752	3.9988			
2 3/4	2.7500	4	2.4252	4.9340			
3	3.0000	4	2.6752	5.9674			
3 1/4	3.2500	4	2.9252	7.0989			
3 1/2	3.5000	4	3.1752	8.3286			
3 3/4	3.7500	4	3.4252	9.6565			
4	4.0000	4	3.6752	11.0826			

APENDICE E

TABLA 14-6 Especificaciones y resistencias SAE para pernos de acero

Número de grado SAE	Rango de dimensión del diámetro exterior (in)	Resistencia de prueba mínima (kpsi)	Límite de fluencia elástico mínimo (kpsi)	Resistencia mínima a tensión (kpsi)	Material
1	0.25-1.5	33	36	60	bajo o medio carbono
2	0.25-0.75	55	57	74	bajo o medio carbono
2	0.875-1.5	33	36	60	bajo o medio carbono
4	0.25-1.5	65	100	115	medio carbono, estirado en frío
5	0.25-1.0	85	92	120	medio carbono, T y R*
5	1.125-1.5	74	81	105	medio carbono, T y R
5.2	0.25-1.0	85	92	120	martensita de bajo carbono, T y R
7	0.25-1.5	105	115	133	aleación de bajo carbono, T y R
8	0.25-1.5	120	130	150	aleación de medio carbono, T y R
8.2	0.25-1.0	120	130	150	martensita de bajo carbono, T y R

* Templado y revenido.

APENDICE F

TABLA 14-9a Parámetros de rigidez para la ecuación 14.7[12]

Material	E (GPa)	ν	A	b
Acero	206.8	0.291	0.78715	0.62873
Aluminio	71.0	0.334	0.79670	0.63816
Cobre	118.6	0.326	0.79568	0.63553
Fundición de hierro gris	100.0	0.211	0.77871	0.61616

APENDICE G

TABLA 6-3 Coeficientes para la ecuación de factor superficial

Fuente: Shigley y Mischke, *Mechanical Engineering Design*, 5a ed., McGraw-Hill, Nueva York, 1989, pág. 283 con permiso

Acabado superficial	MPa		kpsi	
	<i>A</i>	<i>b</i>	<i>A</i>	<i>b</i>
Rectificado	1.58	-0.085	1.34	-0.085
Maquinado o estirado en frío	4.51	-0.265	2.7	-0.265
Rolado en caliente	57.7	-0.718	14.4	-0.718
Forjado	272	-0.995	39.9	-0.995

APENDICE H

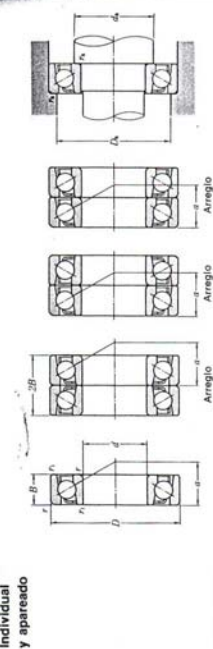
FACTORES DE CONFIABILIDAD PARA $S_d = 0.08 \mu$

Confiabilidad %	$C_{\text{confiabilidad}}$
50	1.000
90	0.897
99	0.814
99.9	0.753
99.99	0.702
99.999	0.659

APENDICE I

Rodamientos de Bolas a Contacto Angular

Individual y apareado



d 30~60 mm

Dimensiones principales			Capacidad básica de carga		Velocidad límite ¹⁾		Masa ²⁾	
d	D	B	2B	F_n min	F_n max	r.p.m.	Centros de rodamientos de carga	kg
			mm	estática	dinámica	grasa	mm	
30	62	16	32	1.1	0.6	11 000	7208B	27.5
	72	19	38	1.1	0.6	9 600	7209B	34.5
	72	19	38	1.1	0.6	9 600	7308B	31.5
35	55	10	20	0.6	0.3	12 000	7907	18
	62	14	28	1.1	0.6	12 000	7907	21
	72	17	34	1.1	0.6	12 000	7207B	24
40	62	17	34	1.1	0.6	10 000	7307B	27
	72	20	40	1.1	0.6	8 600	7307B	34.5
	80	21	42	1.5	1	8 600	7307B	34.5
45	68	12	24	0.6	0.3	15 700	7909	22.5
	75	16	32	1.1	0.6	14 000	7909	25.5
	85	19	38	1.1	0.6	12 000	7209B	28.5
50	75	18	36	1.1	0.6	12 000	7209B	37
	85	19	38	1.1	0.6	10 000	7309B	33.5
	100	25	50	1.5	1	8 600	7309B	43
55	72	12	24	0.6	0.3	16 600	7910	23.5
	80	16	32	1.1	0.6	14 000	7910	27
	90	20	40	1.1	0.6	12 000	7210B	30.5
60	80	17	34	1.1	0.6	11 000	7310B	36.5
	90	20	40	1.1	0.6	9 600	7310B	47
	110	27	54	2	1	6 800	7310B	1.11
65	80	13	26	1.1	0.6	17 200	7911	26
	90	16	32	1.1	0.6	15 000	7911	30
	100	21	42	1.5	1	11 000	7211B	33
70	90	20	40	1.1	0.6	11 000	7211B	43
	100	21	42	1.5	1	9 600	7311B	40
	120	29	58	2	1	6 800	7311B	52
80	120	29	58	2	1	79 000	7912	27.5
	130	32	64	2	1	7 600	7912	27.5
	150	36	72	2	1	6 800	7912	27.5

1) Velocidad límite para rodamientos con jaula mecanizada de bronce.
 2) Estas masas se refieren a un 20% para rodamientos con jaula mecanizada.
 3) Los rodamientos con jaula B representan un ángulo de contacto de 40°.



Carga equivalente del rodamiento
 $F_e = X_1 F_r + Y_1 F_a$
 dinámica
 $F_e = X_2 F_r + Y_2 F_a$
 estática
 $F_{e0} = X_0 F_r + Y_0 F_a$
 para ángulo de ataque DT
 Datos: F_r = fuerza radial, F_a = fuerza axial, X_1, Y_1 = coeficientes de carga dinámica, X_2, Y_2 = coeficientes de carga dinámica para ángulo de ataque DT, X_0, Y_0 = coeficientes de carga estática, D = diámetro exterior, d = diámetro interior, $r_{1,2}$ = radios de curvatura de las esquinas del rodamiento, $r_{1,2,0}$ = el mismo que $r_{1,2}$.

Capacidad básica de carga (apareado)			Velocidades límites ¹⁾		Número de rodamientos ²⁾		Dimensiones de hombros y filetes				
distancia C	N	C_{10}	grasa	r.p.m.	grasa	r.p.m.	d_a	D_a	D_h	$r_{1,2}$	$r_{1,2,0}$
mm		estática	grasa	grasa	grasa	grasa	mm	mm	mm	mm	mm
33 500	27 100	8 600	11 000	7208DB	DF	DT	35.5	56.5	57.5	1	0.6
	54 500	44 500	8 600	13 000	7308DB	DF	37	65	67.5	1	0.6
	50 000	41 000	7 700	10 000	7308DB	DF	37	65	67.5	1	0.6
18 500	17 700	10 600	13 000	7907DB	DF	DT	39.5	50.5	52.5	0.6	0.3
	28 500	25 100	8 600	11 000	7207DB	DF	40.5	56.5	57.5	1	0.6
	48 500	40 000	8 600	11 000	7207DB	DF	42	59.5	65	1	0.6
44 000	36 500	7 800	10 000	7307DB	DF	DT	42	59.5	65	1	0.6
	66 000	52 500	7 800	10 000	7307DB	DF	43.5	60.5	71.5	1.5	1
	59 500	48 500	6 800	9 000	7307DB	DF	43.5	60.5	71.5	1.5	1
20 600	20 400	9 000	12 000	7908DB	DF	DT	44.5	57.5	59.5	0.6	0.3
	30 500	29 200	8 300	11 000	7008DB	DF	45.5	62.5	63.5	0.6	0.3
	57 500	50 500	7 700	10 000	7208DB	DF	47	64.5	73	1.5	1
52 000	46 000	6 700	8 900	7208DB	DF	DT	47	64.5	73	1.5	1
	79 500	66 000	6 900	9 200	7308DB	DF	48.5	65.5	81.5	1.5	1
	72 000	60 500	6 000	8 000	7308DB	DF	48.5	65.5	81.5	1.5	1
25 500	25 700	8 100	11 000	7909DB	DF	DT	49.5	63.5	65.5	0.6	0.3
	36 000	35 500	7 500	10 000	7009DB	DF	50.5	69.5	70.5	1	0.6
	64 500	57 500	6 900	9 200	7209DB	DF	52	69.5	78	1.5	1
58 500	52 500	6 000	8 000	7209DB	DF	DT	52	69.5	78	1.5	1
	87 000	67 000	6 000	8 200	7309DB	DF	53.5	70.5	91.5	1.5	1
	96 000	68 500	5 400	7 200	7309DB	DF	53.5	70.5	91.5	1.5	1
27 000	26 900	7 300	9 800	7910DB	DF	DT	54.5	67.5	69.5	0.6	0.3
	40 000	38 000	6 800	9 100	7010DB	DF	55.5	74.5	75.5	1	0.6
	67 000	60 000	6 200	8 200	7210DB	DF	57	74.5	83	1.5	1
60 500	57 000	5 700	7 300	7210DB	DF	DT	57	74.5	83	1.5	1
	121 000	104 000	5 600	7 500	7310DB	DF	60	85.5	104.5	2	1
	111 000	96 000	4 900	6 500	7310DB	DF	60	85.5	104.5	2	1
28 100	32 000	6 700	8 900	7911DB	DF	DT	60.5	74.5	76.5	1	0.6
	50 500	52 500	6 900	8 400	7011DB	DF	62	82.5	81.5	1.5	1
	83 000	79 000	6 700	7 600	7211DB	DF	63.5	80.5	91.5	1.5	1
75 000	72 000	5 000	6 800	7211DB	DF	DT	63.5	80.5	91.5	1.5	1
	139 000	123 000	5 100	6 000	7311DB	DF	65	110	114.5	2	1
	128 000	113 000	4 500	5 300	7311DB	DF	65	110	114.5	2	1
29 300	35 000	6 200	8 300	7912DB	DF	DT	65.5	79.5	80.5	1	0.6
	55 000	58 500	6 200	8 300	7912DB	DF	65.5	79.5	80.5	1	0.6
	90 500	84 500	5 500	7 100	7312DB	DF	68	104.5	114.5	2	1

Nota: Los rodamientos de las series 79 y 70, con ranuras en el anillo interior tienen hombros en ambos lados. En consecuencia, la dimensión $r_{1,2}$ del anillo interior es la misma que la dimensión $r_{1,2}$. Mas aún, el radio de curvatura de las esquinas del rodamiento, $r_{1,2,0}$, es el mismo que $r_{1,2}$.

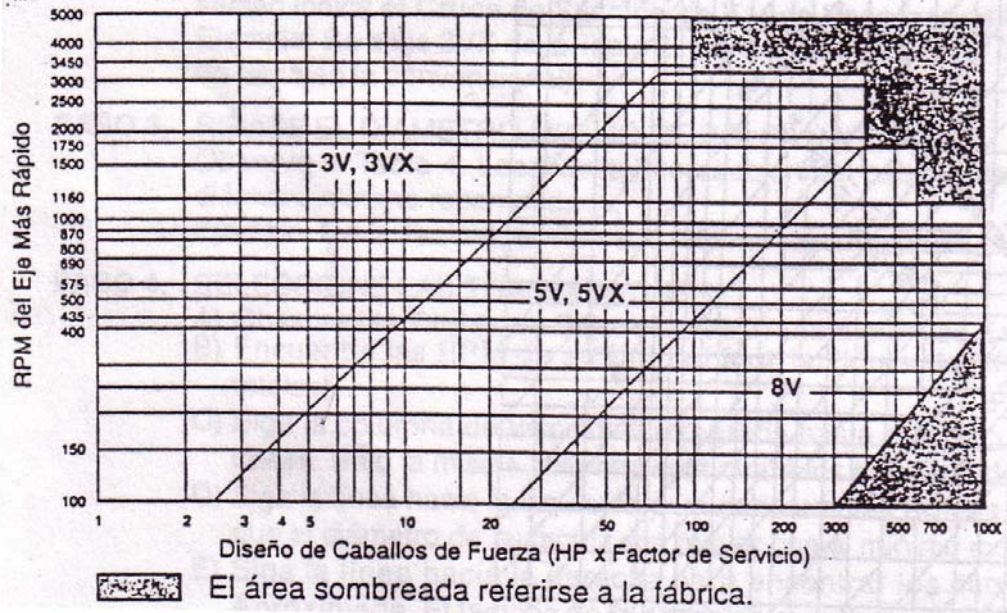
APENDICE J

Motor frame size	Motor Data*													Efficiency %	Motor Wt. lb.
	Nominal Power Rating		Full Load rpm	Full Load Current			Locked Rotor Current			Full Load Torque lb-in.	Torque % of Full Load				
	hp	kw		230V amps	460V amps	575V amps	230V amps	460V amps	575V amps		Starting	Breakdown			
56	0.5	0.37	1700	2.15	1.08	0.86	8.6	4.3	3.45	18.8	210	230	62	15	
56	0.75	0.55	1700	3.05	1.53	1.22	13	6.5	5.2	28.0	260	260	65	22	
43T	1.0	0.75	1700	3.9	1.95	1.55	16	8	6.4	38.0	275	300	70	25	
45T	1.5	1.1	1700	4.75	2.32	1.9	24	12	9.6	55.3	260	280	74	35	
56	2	1.5	1720	6.0	3.0	2.4	34	17	13.6	74.5	300	300	80	39	
56	3	2.2	1700	8.6	4.3	3.45	49	24.5	19.6	110	300	280	78	51	
84T	5	3.7	1680	13.6	6.8	5.4	70	35	28	188	250	230	80	60	
113T	7.5	5.5	1730	19.2	9.6	7.7	125	62.5	50	274	280	280	85	105	
156T	10	7.5	1700	26	13	10	160	80	64	367	210	260	85	144	
154T	15	11	1720	36	18	14.5	232	116	99	541	240	250	90	183	
156T	20	15	1730	52	26	21	244	122	99	732	210	200	88	322	
184T	25	18.5	1750	64	32	25	352	176	137	893	270	220	90	379	
186T	30	22	1740	76	38	31	418	209	170	1068	240	220	90	406	
124T	40	30	1760	94	47	37	580	290	243	1440	270	220	93	538	
126T	50	37	1750	114	57	46	698	349	277	1790	270	230	92	653	
164T	60	45	1760	142	71	56	870	435	368	2160	290	230	93	717	

Synchronous speed 1800 rpm, 60 Hz, NEMA design B, continuous duty, 40°C ambient and up to 3300 feet elevation.

APENDICE K

TABLA 2 — Tabla de Selección por Sección Transversal para Ranuras de Alta Capacidad



APENDICE L

TABLA 4 — Mínimos Diámetros Recomendados en Poleas para Motores Eléctricos

CABALLO DE FUERZA DEL MOTOR	RPM DEL MOTOR					
	575	695	870	1160	1750	3450
.50	2.50	2.50	2.50	—	—	—
.75	3.00	2.50	2.50	2.50	—	—
1.00	3.00	3.00	2.50	2.50	2.25	—
1.50	3.00	3.00	3.00	2.50	2.50	2.25
2.00	3.75	3.00	3.00	2.50	2.50	2.50
3.00	4.50	3.75	3.00	3.00	2.50	2.50
5.00	4.50	4.50	3.75	3.00	3.00	2.50
7.50	4.25	4.50	4.50	3.75	3.00	3.00
10.00	6.00	5.25	4.50	4.50	3.75	3.00
15.00	6.75	6.00	5.25	4.50	4.50	3.75
20.00	8.25	6.75	6.00	5.25	4.50	4.50
25.00	9.00	8.25	6.75	6.00	4.50	4.50*
* 30.00	10.00	9.00	6.75	6.75	5.25	—
40.00	10.00	10.00	8.25	6.75	6.00	—
50.00	11.00	10.00	9.00	8.25	6.75	—
60.00	12.00	11.00	10.00	9.00	7.50	—
75.00	14.00	13.00	10.00	10.00	9.00	—
100.00	18.00	15.00	13.00	13.00	10.00	—
125.00	20.00	18.00	15.00	13.00	11.00	—
150.00	22.00	20.00	18.00	13.00	—	—
200.00	22.00	22.00	22.00	—	—	—
250.00	22.00	22.00	—	—	—	—
300.00	27.00	27.00	—	—	—	—

*NOTA: Los datos sobre la línea son del National Electrical Manufacturers Association Standard MG 1-3.16 y MG1-3.16a. Los datos debajo de la línea son un compendio de datos de Electrical Motor Manufacturers. Son generalmente conservativos, y los motores y rodamientos específicos pueden permitir el uso de una polea para motor más pequeña. Consulte al fabricante de motores.

APENDICE M

1 Ranura*										
F = 1/16										
No. de Parte	DE	DP	Tipo	Buje	Barreno Máximo del Buje	E	K	Largo Total del Barreno	M	Peso sin Buje
		Banda 3V								
1 3V 220 JA	2.20	2.15	E-1	JA	1/4	3/16	3/16	1 1/8	1/16	.7
1 3V 235 JA	2.35	2.30	E-1	JA	1/4	3/16	3/16	1 1/8	1/16	.8
1 3V 250 JA	2.50	2.45	E-1	JA	1/4	3/16	3/16	1 1/8	1/16	.8
1 3V 265 JA	2.65	2.60	C-1	JA	1/4	3/8	1/2	1 1/8	0	.9
1 3V 280 JA	2.80	2.75	C-1	JA	1/4	3/8	1/2	1 1/8	0	.9
1 3V 300 JA	3.00	2.95	C-1	JA	1/4	3/8	1/2	1 1/8	0	1.0
1 3V 315 JA	3.15	3.10	C-1	JA	1/4	3/8	1/2	1 1/8	0	1.0
1 3V 335 JA	3.35	3.30	C-1	JA	1/4	3/8	1/2	1 1/8	0	1.1
1 3V 365 SH	3.65	3.60	D-1	SH	1 1/16	3/8	0	1 1/8	1/16	1.3
1 3V 412 SH	4.12	4.07	D-1	SH	1 1/16	3/8	0	1 1/8	1/16	1.7
1 3V 450 SH	4.50	4.45	D-2	SH	1 1/16	3/8	0	1 1/8	1/16	2.1
1 3V 475 SH	4.75	4.70	D-2	SH	1 1/16	3/8	0	1 1/8	1/16	2.5
1 3V 500 SH	5.00	4.95	D-2	SH	1 1/16	3/8	0	1 1/8	1/16	2.8
1 3V 530 SH	5.30	5.25	D-2	SH	1 1/16	3/8	0	1 1/8	1/16	3.2
1 3V 560 SH	5.60	5.55	D-2	SH	1 1/16	3/8	0	1 1/8	1/16	3.2
1 3V 600 SH	6.00	5.95	D-2	SH	1 1/16	3/8	0	1 1/8	1/16	3.5
1 3V 650 SH	6.50	6.45	D-3	SH	1 1/16	3/8	0	1 1/8	1/16	3.9
1 3V 690 SH	6.90	6.85	D-3	SH	1 1/16	3/8	0	1 1/8	1/16	4.5
1 3V 800 SDS	8.00	7.95	C-3	SDS	2	3/8	0	1 1/8	0	5.5
1 3V 1060 SDS	10.60	10.55	C-3	SDS	2	3/8	0	1 1/8	0	8.0
1 3V 1400 SK	14.00	13.95	C-3	SK	2 3/8	1/2	0	1 1/8	0	13.5
1 3V 1900 SK	19.00	18.95	C-3	SK	2 3/8	1/2	0	1 1/8	0	17.0
	25.00	24.95								

* F = 3/8" para 1 3V 800 SDS y 1 3V 1060 SDS, F = 1/2" para 1 3V 1400 SK y 1 3V 1900 SK

APENDICE N

ABREVIATURAS

bar	Bares
C	Centígrado
cm	Centímetros
cm ²	Centímetros Cuadrados
cm ³	Centímetros Cúbicos
cm ⁴	Centímetros A La Cuarta
CR	Cloropropano
EPDM	Etileno – Propileno – Dieno
F	Fahrenheit
h	Horas
HP	Caballos De Fuerza
I.D.	Diámetro Interior
K	Kelvin
Kg	Kilogramo
KPa	Kilo Pascales
l	Litros
lb	Libras
m	Metros
m ²	Metros Cuadrados
min	Minutos
mm	Milímetros
mm ³	Milímetros Cúbicos
MPa	Mega Pascales
N	Newton
N ₂	Nitrógeno
NBR	Nitrilo
O.D.	Diámetro Exterior
PA	Poliamida
PC	Policarbonato
pie ³	Pies Cúbicos
psi	Libras / pulgadas cuadradas
psig	Libras / Pulgadas Cuadradas Manométricas
PTFE	Politetrafluoretileno
pulg	Pulgadas

pulg ²	Pulgadas Cuadradas
R.P.M.	Revoluciones Por Minuto
Rad.	Radianes
rev	Revoluciones
SBR	Estireno - Butadieno
SCH	Cedula
seg.	Segundos
seg ²	Segundos Al Cuadrado
SS	Acero Inoxidable
W	Watts

APENDICE O



Model 300 Polyblaster Cryogenic Deflashing Tumbler

Model 300 Features:

- 304 Stainless Steel Barrel
- Maximum Cooling Temperature -200° F
- Weight 1,325 lbs.
- Solid Construction and Insulated to Reduce Nitrogen Use
- Sheet Metal Barrel Enclosure
- Chrome Steel Balls or Other Media May Be Used to Assist in Deflashing
- Pre-chill Option
- Effective Capacity of 2.0 Cu. Ft. of Parts
- Manual or Automatic Operation
- Safety Interlocks
- Bottom Forklift Tubes

Applications:

- Rubber
- Zinc-Aluminum Alloy

Dimensions:

- 40" D x 65" W x 51" H
- Weight 1,325 lbs.
- Barrel Capacity 3.5 Cu. Ft.

Electrical:

- 460 VAC/3 PH/50 HZ
- All Electrical Components Locally Available



ASC Services Include:

- Polyblast Plastic Blast Cleaning Media
- Rubber & Plastic Mold Cleaning Systems
- Polyblast Deflashing Media – Cryogenic & Ambient
- Polyblast Deflashing Systems
- Custom Deflashing Services
- Total Product Support

Regardless of your deflashing requirements, Abrasive Supply Company is your all-in-one solution to your application challenges. Contact our representative today for more information!

Before



After



ASC Abrasive Supply Company, Inc.

25240 State Route 172 | Minerva, Ohio 44657
Phone: 330-894-2818 | Fax: 330-894-2626 | polyblast.com | polyblast@eeohio.net

Manufacturers of
Polyblast™

BIBLIOGRAFIA

1. GALAN ANGEL, "Selección de una Central Oleohidráulica para Reemplazar Método Manual en la Fabricación de Accesorios de Caucho" (Informe Técnico, Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción, Escuela Superior Politécnica del Litoral, 1998).
2. CIESIELSKI ANREW, An Introduction to Rubber Technology, First Edition, 1999.
3. LINDE AGA, Técnicas de desbarbado criogénico (catalogo), 2001.
4. VARGAS ANGEL, Mantenimiento de Rodamientos y Cojinetes (catalogo).
5. BROWN – LeMAY – BURSTEN, Química: La Ciencia Central, quinta edición, 1993.
6. POPOV EGOR, Introducción a la Mecánica de Sólidos, primera edición, 1976.

7. NORTON ROBERT, Diseño de Máquinas, primera edición, 1999.
8. MELGAREJO PABLO, Cámaras Frigoríficas y túneles de enfriamiento Rápido, primera edición, 2000.
9. FERNANDEZ PEDRO, Ingeniería Térmica y de Fluidos, Departamento de Ingeniería Eléctrica y Mecánica de la Universidad de Cantabria.
10. BEER – JOHNSTON, Mecánica Vectorial para Ingenieros: Dinámica, quinta edición, 1990
11. NTN, Manual de rodamientos, 2003.
12. LINDE AGA, Catálogo de Electrodo Comunes, Especiales y Gases para Corte y Soldadura, 2005
13. http://www.acesita.com.br/esp/interno.php?area=inox_o_que_sao,
¿Qué es Acero Inoxidable?