ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción

"Diseño de Equipo para Producir CO_2 Pelletizado de Alta Densidad"

TESIS DE GRADO

Previo a la obtención del Título de:

INGENIEROS MECÁNICOS

Presentada por:

Jenner Christopher Moreira Carrasco
Santiago José Coello Loor

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año: 2011

AGRADECIMIENTO

A nuestros padres por su apoyo incondicional, sus sabios consejos y firmes valores, que nos motivaron para alcanzar responsablemente nuestras metas.

A nuestros compañeros de trabajo, que nos brindaron su apoyo en el desarrollo de este tema, en especial al Ing. Jorge Pozo.

Agradecemos a la ESPOL, a nuestro Director de Tesis Ing. Ernesto Martínez por su invaluable e importante ayuda para la realización de esta tesis.

DEDICATORIA

A NUESTRAS FAMILIAS,

AMIGOS Y

PROFESORES

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

Ing. Gustavo Guerrero M.
DECANO DE LA FIMCP
PRESIDENTE

Ing. Ernesto Martínez L.
DIRECTOR DE TESIS

Ing. Federico Camacho B.
VOCAL

DECLARACIÓN EXPRESA

"La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, nos corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL"

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)

_____

Jenner Christopher Moreira Carrasco

_____

Santiago José Coello Loor

RESUMEN

Un método de limpieza llamado ICEBLASTING se utiliza en el Ecuador, el cual emplea pellets de CO_2 (tamaño de un grano de arroz aproximadamente), más aire comprimido como agente transportador, para limpiar superficies donde no se pueda usar abrasivos que dañen el material base o químicos contaminantes. Este método es capaz de remover finas capas de óxido, depósitos de carbono, grasas, entre otros. Se lo utiliza en industrias como: alimenticia, de generación de energía, gráfica, plástica, petrolera, química, y otras. Además en la recuperación de patrimonio cultural. Para este método se emplean grandes cantidades de pellets de CO_2.

Los autores de esta tesis de grado trabajan para una empresa que realiza el método de limpieza ICEBLASTING. La empresa utilizaba bloques de CO_2, los cuales extruía por medio de un equipo (construido en la misma empresa) para formar los pellets de CO_2.

Existían las siguientes limitantes con dos proveedores de bloques de CO_2; el proveedor A entregaba el producto a un costo conveniente pero tenía muchos problemas operativos durante el año, por lo tanto el abastecimiento los 365 días del año no era confiable. El proveedor B tenía una mejor confiabilidad pero su costo era un 20% mayor al del proveedor A. Además previo a un trabajo de limpieza, se tenía que hacer con antelación, una

solicitud al proveedor de la cantidad a necesitar de bloques de CO_2 porque la entrega no era inmediata, lo cual limitaba posibles variaciones en los contratos de trabajo de ICEBLASTING y no permitía brindar el servicio de manera inmediata.

Estos inconvenientes y dependencias a agentes externos, eran las causas que limitaban al servicio de limpieza de ICEBLASTING y ocasionaba que no se pueda trabajar en forma coordinada.

En esta tesis se diseñó un equipo que permite el abastecimiento continuó y confiable del CO_2 pelletizado utilizando CO_2 líquido proveniente de un tanque refrigerado con capacidad de almacenamiento de 3.000 kg. El costo del equipo no superó el 65% del valor de un equipo similar importado. Se ha proporcionado los planos de construcción del mismo, con un listado detallado de todas las partes que constituyen la máquina. Asimismo el cronograma establecido para la realización de cada actividad y un análisis de costos detallado para la fabricación del equipo.

ÍNDICE GENERAL

Pág

RESUMEN ……....II

ÍNDICE GENERAL ……IV

ABREVIATURAS……...……VI

SIMBOLOGÍA ..…….…….…….. VIII

ÍNDICE DE FIGURAS…….……....XI

ÍNDICE DE TABLAS…….....XIII

ÍNDICE DE PLANOS…….…… ..XV

INTRODUCCIÓN ……....1

CAPÍTULO 1

1. CARACTERIZACIÓN DEL PROCESO DE ICEBLASTING…… 2

1.1. Procesos de Blasteo Existentes…… 2

1.2. Proceso de ICEBLASTING…… 6

1.3. Propiedades del CO_2 Sólido (hielo seco)……. 20

1.4. Producción de CO_2 Sólido (hielo seco)……. 25

CAPÍTULO 2

2. CARACTERIZACIÓN DEL PROBLEMA Y ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN…… 30

2.1. Descripción del Problema……..… 30

2.2. Alternativas de Solución…… 32

2.3. Matriz de Decisión…… 34

CAPÍTULO 3

3. DISEÑO DE EQUIPO PARA PRODUCIR CO_2 PELLETIZADO……. 36

3.1. Diseño de Forma…… 36

3.2. Diseño de la Matriz de Extrusión…… 38

3.3. Diseño de la Cámara de Formación…… . 59

3.4. Diseño de Cilindro de Compresión de Nieve Carbónica…… 67

3.5. Selección del Sistema Hidráulico…….. 74

3.6. Selección de Tuberías y Accesorios……. 78

3.7. Selección del Tanque de Almacenamiento……. 81

3.8. Sistema de Control……..… 83

CAPÍTULO 4

4. ANÁLISIS DE COSTOS…… 91

4.1. Costo de Materiales……. 93

4.2. Costo de Mano de Obra……. 96

4.3. Otros Costos…… 99

CAPÍTULO 5

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES…… 108

APÉNDICES.

BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS.

ABREVIATURAS

AISI	Instituto Americano del Hierro y el Acero.
ASHRAE	Sociedad Americana de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado.
ASTM	Sociedad Americana para Pruebas de Materiales.
AW	Anti – desgaste.
CAS	Chemical Abstracts Service de la Sociedad Americana de Química.
CETOP	Comisión Europea de Transmisión Hidráulica y Neumática.
CO_2	Dióxido de Carbono.
DIN	Instituto Alemán de Normalización.
FOB	Franco a Bordo. Free on Board.
FP	Factor de ponderación.
ISO	Organización Internacional de Estandarización.
NFPA	Asociación Nacional de Protección contra el Fuego.
NPT	Nacional de Rosca.
Ac	Acero
Cant	Cantidad.
DLW	Arranque directo trifásico.
ESTRN	Deformación Unitaria Equivalente.
Etc	etcétera.
FDS	Factor de seguridad.
F.S	Factor de servicio.
Fig.	Figura.
Inox	Inoxidable.
IVA	Impuesto al Valor Agregado.
LED	Diodo emisor de luz.
Min	Mínimo.
Max	Máximo.
MP	Presión Máxima.
Mohs	Unidad de dureza.
No.	Número.
N/A	Normalmente abierto.
N/C	Normalmente cerrado.
PH	Fase.
PLC	Controlador Lógico Programable.

PVC	Policloruro de Vinilo.
P&ID	Diagrama de Tuberías e Instrumentación.
RPM	Revolución por minuto.
Sch	Cedula en tubería.
Unid	Unidad.
Unit	Unidades.
USD	Dólar de los Estados Unidos.
VAC	Voltios de corriente alterna.
VS	Versus. Frente a.
WP	Presión de trabajo.
Amp	Amperio.
Bar	Unidad de presión equivalente a 100.000 Pascales.
^oC	Grado Celsius.
Cc/rev	Centímetro cúbico por revolución.
Cfm	Pie cúbico por minuto.
C_p	Capacidad calorífica a presión constante.
C_v	Capacidad calorífica a volumen constante.
Cr	Cromo.
e	Epsilon.
^oF	Grado Fahrenheit.
Glns	Galones.
g/mol	gramo por mol.
H	Entalpía.
HP	Caballo de potencia.
Hz	Hertz.
Kg	Kilogramo.
Kg/h	Kilogramo por hora.
Kj/kg	kilojoule por kilogramo.
Kj/mol.^oK	Kilojoule por mol grado Kelvin.
Kg/min	Kilogramo por minuto.
Kg/m^3	Kilogramo por metro cúbico.
Ksi	Kilo libra por pulgada cuadrada.
Kg/m^2	Kilogramo por metro cuadrado.
Kg.m	Kilogramo por metro.
Lt/min	Litro por minuto.
Lb.pie	Libra por pie.
MPa	Mega pascales
m	Metro.

m^3	Metro cúbico.
mm	Milímetro.
m/seg	Metros por segundo.
mlt/rev	Mililitro por revolución.
M^3/kg	Metro cúbico por kilogramo.
Mo	Molibdeno.
mW/m. ºK	Miliwatts por metro grado Kelvin.
N	Newton.
N/m^2	Newton por metro cuadrado.
P	Presión.
Poise	Unidad de viscosidad.
Psi	Libra por pulgada cuadrada.
Psig	Libra por pulgada cuadrada manométrica.
Pulg	Pulgada.
Scfm	Pie cúbico estándar por minuto.
USD/hora-H	Dólares por hora hombre.
V	Voltio.
Vol/Vol	Volumen sobre volumen.
W	Watts.
π	Pi.
X	Calidad.

SIMBOLOGÍA

A	Área.
A_{tmolde}	Área molde
a_1	Área perforada de molde primario.
a_2	Área perforada de molde secundario
Q_n	Caudal hidráulico necesario.
Q_r	Caudal hidráulico requerido.
ρ	Densidad.
D_h	Desplazamiento hidráulico.
Φ	Diámetro
d_c	Diámetro del cilindro hidráulico.
D_a	Diámetro del alambre.
η	Factor de seguridad.
η_t	Eficiencia total hidráulica.
σ_m	Esfuerzo medio.
σ_a	Esfuerzo
σ_{max}	Esfuerzo máximo.
σ_{min}	Esfuerzo mínimo.
σ_x	Esfuerzo en el eje x.
σ_y	Esfuerzo en el eje y.
σ_z	Esfuerzo en el eje z.
σ_r	Esfuerzo radial.
σ_t	Esfuerzo tangencial.
K_a	Factor de modificación de la condición superficial.
K_b	Factor de modificación del tamaño.
K_c	Factor de modificación de la carga.
K_d	Factor de modificación de la temperatura.
K_e	Factor de confiabilidad.
K_f	Factor de modificación de efectos varios.
F_{h6}	Fuerza cilindro hidráulico 6 pulgadas.
h_c	Largo de cámara de formación.
S_e	Límite de resistencia a la fatiga en viga rotatoria.
S_e'	Límite de resistencia a la fatiga en la ubicación crítica de una parte de máquina en la geometría y condición de uso.
Log	Logaritmo.

L_v	Longitud de carrera de cilindro.
w_m	Luz de la malla.
c	Magnitud máxima de y.
m	Masa.
M	Momento.
N	Número de Ciclos.
p_i	Presión interna en el cilindro.
r_i	Radio interno.
r_o	Radio externo.
r	Radio.
η_v	Rendimiento volumétrico.
S_y	Resistencia a la fluencia.
S_{ut}	Resistencia última.
S_f	Resistencia a la fatiga.
R_1	Relación de áreas A/a1
R_2	Relación de áreas A/a2
RP_1	Rango de presión hidráulica 1.
RP_2	Rango de presión hidráulica 1.
I	Segundo momento de área.
t_c	Tiempo de duración de la carrera del cilindro hidráulico.
P_a	Potencia de accionamiento de la bomba hidráulica.
p_h	Presión hidráulica.
V	Volumen.
V_v	Velocidad de carrera del cilindro hidráulico

.

ÍNDICE DE FIGURAS

Pág.

Figura 1.1 Aplicación de Sandblasting…….. 4
Figura 1.2 Remoción de Pintura de Vehículo Aplicando Sodablasting. 5
Figura 1.3 Tamaños de Granallas…… 6
Figura 1.4 Instalación típica de ICEBLASTING…… 7
Figura 1.5 Visualización Gráfica de la Incidencia de una Partícula de CO_2 Sólido sobre una Superficie……..…..... 9
Figura 1.6 Limpieza de Panel de Control…… 10
Figura 1.7 Alabe de Turbina a gas……...12
Figura 1.8 Aplicación de ICEBLASTING a un Motor Eléctrico……..17
Figura 1.9 Aplicación de ICEBLASTING a turbo de Motor a Diesel de un barco……17
Figura 1.10 Producción Mundial de CO_2 por Sector…… 21
Figura 1.11 Emisión Mundial de CO_2 por Año Proveniente de Combustibles Fósiles…… 22
Figura 1.12 Diagrama Presión vs Temperatura del CO_2…… 26
Figura 1.13 Diagrama Termodinámico Presión vs. Entalpia del CO_2..... 26
Figura 1.14 Nuggets de CO_2…… 28
Figura 1.15 Pellets de CO_2 de 3mm…… 29
Figura 3.1 Diseño de Forma de Pelletizadora……...38
Figura 3.2 Diseño de forma de Matriz de Extrusión…… 39
Figura 3.3 (a) Primer Diseño Propuesto; (b) Segundo Diseño Propuesto; (c)Tercer Diseño Propuesto; (d) Cuarto Diseño Propuesto… 42
Figura 3.4 Matriz Primaria, Matriz Secundaria, Placa-Soporte…….. 44
Figura 3.5 Ensamble del Conjunto Matriz Primaria, Matriz Secundaria y Placa-Soporte……..... 45

Figura 3.6 Representación de las Sujeciones y el Área donde se Ejerce Presión……46

Figura 3.7 Representación de Conjunto Mallado de la Matriz de Extrusión……46

Figura 3.8 Representación del Esfuerzo de Von Mises en el Conjunto de Extrusión, con una Escala de Deformación de 450x Veces la Deformación Real…… 47

Figura 3.9 Representación de la Deformación Unitaria Equivalente Conjunto de Extrusión, con una escala de deformación de 450x veces la deformación real…….. 48

Figura 3.10 Distribución del factor de seguridad en el conjunto de Extrusión…… 49

Figura 3.11 Tensores del conjunto de extrusión……. 54

Figura 3.12 Distribución de fuerzas en el tensor……... 55

Figura 3.13 Cámara de formación……. 60

Figura 3.14 Filtro de malla y protector…… 60

Figura 3.15 Cilindro de compresión de nieve carbónica……... 67

Figura 3.16 Representación de zonas en el cilindro de compresión…… 69

Figura 3.17 Representación de conjunto mallado del cilindro de Compresión de Nieve Carbónica……. 69

Figura 3.18 Representación del esfuerzo de von Mises en el cilindro de Compresión de nieve carbónica, con una escala de deformación de 430X……..... 70

Figura 3.19 Representación de la deformación unitaria equivalente del Cilindro de Compresión de Nieve Carbónica……..…...71

Figura 3.20 Distribución del factor de seguridad del cilindro de Compresión de Nieve Carbónica…… 71

Figura 3.21 Sellos del cilindro de compresión de nieve carbónica…… 73

Figura 3.22 Manifold para CO_2…… 81

Figura 3.23 Tanque vertical de almacenamiento de CO_2 …… 82
Figura 3.24 Diagrama de flujo de tanque de almacenamiento criogénica. 83
Figura 3.25 Logo de Siemens……..… 85
Figura 3.26 Representación de los detectores de proximidad en el cilindro hidráulico…….. 86
Figura 3.27 Válvula de acero inoxidable con actuador neumático…….. 89
Figura 4.1 Distribución de costos del equipo…… 99

ÍNDICE DE TABLAS

Pág.

Tabla 1 Comparación del ICEBLASTING con los Métodos de Limpieza Conocidos……. 14
Tabla 2 Parámetros durante trabajos de ICEBLASTING realizados……..18
Tabla 3 Comparación de sistemas de limpieza en diferentes aplicaciones…… 19
Tabla 4 Propiedades Principales del co_2…….. 23
Tabla 5 Matriz de Decisión…… 34
Tabla 6 Comparación de los Diseños Realizados…… …….. 42
Tabla 7 Información de malla de la matriz de extrusión…….. 47
Tabla 8 Resumen de los resultados obtenidos en el análisis estático al Conjunto de extrusión utilizando SOLIDWORKS®……... 50
Tabla 9 Información de Malla del Cilindro de Compresión de Nieve Carbónica…….. 70
Tabla 10 Resultados del Análisis Estático del Cilindro de Compresión de Nieve Carbónica……. 72
Tabla 11 Tamaño de Tubería para Transporte de CO_2…….. 78
Tabla 12 Resumen de Tareas Asignadas al Logo!..... 87
Tabla 13 Componentes del Sistema de Control…….. 90
Tabla 14 Diagrama de Gantt de Construcción del Equipo……. 92
Tabla 15 Costos de Materiales para el Conjunto de Extrusión…….93
Tabla 16 Costo de Componentes del Sistema Hidráulico……....94
Tabla 17 Costo de Tuberías y Accesorios para la Red de CO_2…….. 95
Tabla 18 Costo de Elementos del Sistema de Control…….. 96
Tabla 19 Costos por Servicios para la Fabricación del Equipo……...97
Tabla 20 Costos Totales del Equipo Pelletizador…….....98

Tabla 21 Costo Inicial de Inversión del Proyecto…… 101
Tabla 22 Gastos Fijos Anuales…….. 101
Tabla 23 Costo de Operación para una Producción de 50.000 kg/año….103
Tabla 24 Costo de Producción de un kg. de Hielo Seco Pelletizado para una Producción de 50.000 kg/año……... 104
Tabla 25 Comparación de Costos y Precio de un kg en base a la Producción Anual…….. 104
Tabla 26 Tabla de Costos para Producir un kg. de Pellets de Hielo Seco Actualmente…….....106
Tabla 27 Costos para Producir un kg. de Pellets de Hielo Seco con Equipos- Diseñados Localmente (incluye Sistema de Recuperación) para una Producción de 50.000 kg/año…….. 107
Tabla 28 Costos para Producir un kg. de Pellets de Hielo Seco con Equipo Diseñado Localmente (no incluye Sistema de Recuperación) Para una Producción de 50.000 kg/año…… …. 107

ÍNDICE DE PLANOS

Plano No. 1	Matriz Primaria.
Plano No. 2	Matriz Primaria
Plano No. 3	Matriz Secundaria
Plano No. 4	Placa – Soporte.
Plano No. 5	Tensores.
Plano No. 6	Cámara de Formación.
Plano No. 7	Cilindro de Compresión de Nieve Carbónica.
Plano No. 8	Válvula Estranguladora de CO_2.
Plano No. 9	Sistema Extrusor u Cilindro Hidráulico.
Plano No. 10	Despiece Sistema Extrusor.
Plano No. 11	Vistas del Sistema Extrusor.
Plano No. 12	Equipo Pelletizador.
Plano No. 13	Equipo Pelletizador sin tanque de almacenamiento.
Plano No. 14	Sistema Hidráulico.
Plano No. 15	Diagrama de Tuberías e Instrumentación.
Plano No. 16	Diagrama Eléctrico del Equipo.
Plano No. 17	Estructura.
Plano No. 18	Vistas de Estructura.

INTRODUCCIÓN

El ICEBLASTING es un método de limpieza que emplea hielo seco pelletizado más aire comprimido. Se lo utiliza en limpieza de motores eléctricos, generadores, motores de combustión interna, imprentas, paneles de control, entre otros. Sus principales usuarios son industrias como: alimenticia, petrolera, gráfica, plástica, termoeléctrica, entre otras.

El hielo seco, al provenir del CO_2 generado por algún proceso industrial necesario como la fermentación o combustión, no agrega contaminantes al medio ambiente e incluso contribuye con la reducción del uso de químicos tóxicos empleados en la limpieza de equipos y partes.

El presente trabajo trata del "Diseño de equipo para producir CO_2 pelletizado de alta densidad" para una capacidad cercana a 100 kg/hora; con el fin de proveer de materia prima para una empresa que brinda el servicio de ICEBLASTING.

En el Capítulo 1 se describe el proceso del ICEBLASTING, sus aplicaciones, así como sus ventajas y desventajas. Asimismo se incluye una descripción del proceso de formación del hielo seco, donde se muestran tablas de propiedades y gráficas termodinámicas importantes acerca del CO_2.

En el Capítulo 2 se justifica la decisión de diseñar un equipo para producir hielo seco pelletizado en base a la situación actual y las posibles alternativas disponibles.

Para obtener los pellets se extruye el hielo seco a través de un molde con orificios de 3 mm de diámetro. El Capítulo 3 trata acerca del diseño del equipo y la selección de elementos que componen los diferentes sistemas. Para el diseño de partes como el conjunto de extrusión, se empleo elementos finitos en el cálculo de esfuerzos y la selección de componentes y accesorios se hizo en base a características que éstos deben cumplir, tales como normas y capacidades.

En el Capítulo 4 se describe en detalle el costo de cada uno de los elementos del equipo y el costo por mano de obra. Además se incluye un análisis de costos de operación y un costo estimado por kg de hielo seco pelletizado producido con el equipo.

La información disponible en esta Tesis, junto con manuales, datos experimentales, tablas, gráficas y catálogos (Apéndices), servirán de consulta y referencia para la construcción futura de equipos similares.

CAPÍTULO 1

1.CARACTERIZACIÓN DEL PROCESO DE ICEBLASTING.

En este capítulo se describen el proceso de ICEBLASTING y los métodos de limpieza de tipo abrasiva por chorro, comúnmente utilizados en la industria local.

Del mismo modo se presentan las propiedades físicas más importantes del CO_2, se explica el proceso termodinámico de la formación del hielo seco y las formas geométricas del mismo, que se emplean en la industria.

1.1. Procesos de blasteo existentes.

La limpieza por chorro utiliza pequeñas partículas de algún material en específico, que son propulsadas por una corriente de aire, las cuales inciden sobre una superficie, eliminando así contaminantes gracias a la fuerza de impacto generada.

Para cubrir necesidades específicas, existe una amplia variedad de abrasivos de diferentes tamaños y durezas.

Los sistemas de chorro a presión, utilizan un suministro de aire de 100 a 200 Psi (7 a 14 Bar) para propulsar el abrasivo a través de una tobera especial.

Entre las variedades existentes de medios de limpieza con chorro de aire a presión están los siguientes:

- **Sandblasting o chorro de arena.**

La limpieza con chorro de arena, es uno de los métodos más empleados, debido a la disponibilidad de la arena y su costo. Se lo utiliza en limpieza de cascos de barcos, estructuras metálicas, tuberías, taques, entre otros. En la Figura 1.1, se ve a un hombre con su equipo de protección aplicando Sandblasting a una estructura metálica para preparar la superficie antes de ser pintada.

La limpieza por chorro de arena origina gran cantidad polvo, lo cual es tóxico para la salud humana y perjudica a los elementos mecánicos.

Figura 1.1APLICACIÓN DE SANDBLASTING.

- **Sodablasting o chorro de bicarbonato.**

El método por chorro de bicarbonato de sodio, se lo aplica en remoción de pintura, en limpieza de cascos de barcos de fibra de vidrio, desengrase de motores y maquinaria, entre otros. La Figura 1.2, muestra la remoción de pintura de un vehículo utilizando Sodablasting.

Uno de los inconvenientes con este método es poder adquirir el bicarbonato de sodio, debido a que tiene restricciones legales por ser un precursor químico en la producción de drogas **[1]**.

Durante la aplicación se generan residuos y polvo; pero tiene la ventaja que el bicarbonato de sodio es altamente soluble en agua y no contamina el medioambiente.

Figura 1.2 REMOCIÓN DE PINTURA DE VEHÍCULO, APLICANDO SODABLASTING.

- **Granallado.**

  El granallado consiste en la proyección de un chorro de granallas más aire comprimido. Asimismo existe granallado con turbina centrifuga.

Es uno de los métodos más utilizados y recomendados en la preparación de superficies metálicas, con el cual se alcanza una buena terminación superficial. Además se lo utiliza en decapado mecánico de alambres, barras, chapas, limpieza de piezas de fundiciones ferrosas y no ferrosas, piezas forjadas, entre otros. En la Figura 1.3, se aprecian los diferentes tamaños de granallas con su respectiva nomenclatura.

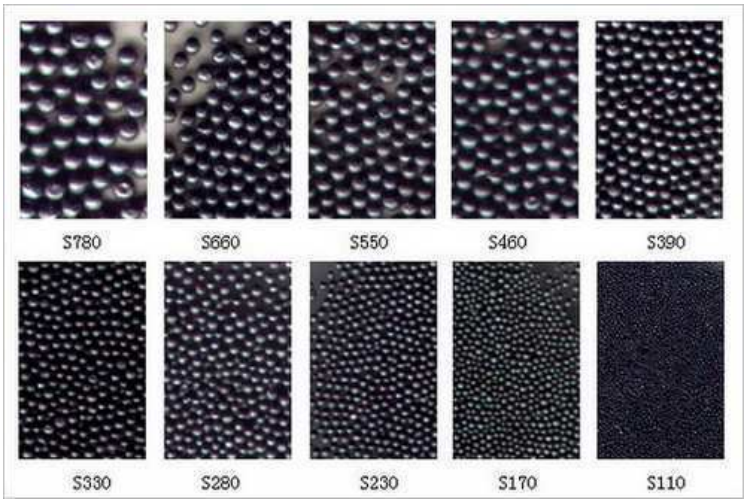


Figura 1.3TAMAÑOS DE GRANALLAS.

Adicional a los métodos anteriormente mencionados, existen otros que utilizan abrasivos como: ceniza, cascara de arroz, vidrio molido, maíz, entre otros.

1.2. Proceso de ICEBLASTING.

El ICEBLASTING o limpieza criogénica, es un método para limpieza de superficies que no es abrasivo con el material base. Utiliza aire comprimido como agente transportador y CO_2 sólido (hielo seco) como agente agresor. Es importante conocer que existen dos tipos de limpieza criogénica; una utiliza pellets de hielo seco de 3mm.de diámetro y la otra, hielo seco granizado que sirve para aplicaciones más delicadas, pero el principio físico es el mismo en ambos casos. En la Figura 1.4, se muestran los componentes necesarios para poder aplicar el ICEBLASTING, lo cual incluye; un compresor de aire, un contenedor térmico para almacenar el hielo seco, el equipo de limpieza criogénica, mangueras de caucho, boquilla y equipo de protección personal.

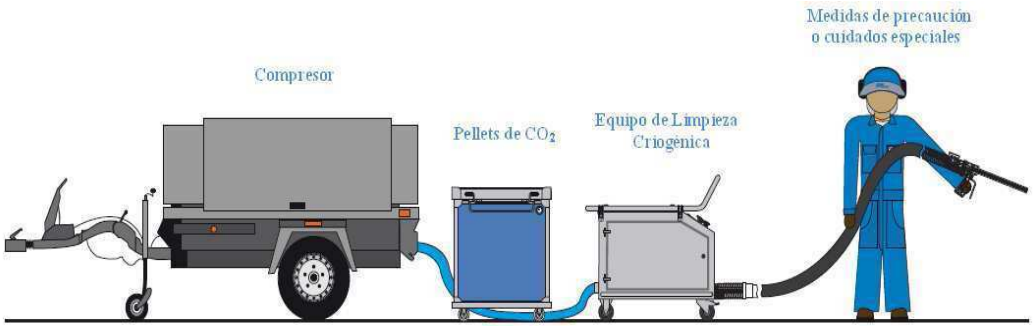


Figura 1.4INSTALACIÓN TÍPICA DE ICEBLASTING.

El ICEBLASTING se lleva a cabo por tres factores que se desarrollan en el proceso:

Efecto Cinético.

Los pellets de CO_2 con presiones de aire de 60 a 150 Psi, son proyectados a velocidades de hasta 300 m/seg.

El efecto cinético de los pellets de CO_2 es mínimo en comparación a otros medios (arena, granalla, vidrio, soda, entre otros). Asimismo, la suavidad relativa del hielo seco (dureza aproximada de 2 Mohs.) **[2]**, y el hecho que los pellets de CO_2 cambien de estado sólido a gaseoso, hace que muy poca energía de impacto o cantidad de movimiento sea transferida en el revestimiento o sustrato, permitiendo así no ser abrasivo con el material base.

Efecto Térmico.

La sublimación instantánea de los pellets de CO_2 que se encuentran a -78 ^{o}C.absorben el calor de la capa del contaminante; este diferencial térmico agudo generado, ocasiona altas tensiones de corte localizado entre las micro capas de la suciedad, lo cual hace que se contraigan, se fisuren y se desprendan del material base con facilidad.

Efecto Explosivo.

La disipación de energía de impacto, combinada con la rápida transferencia de calor entre el pellet y la superficie, provoca que el gas se expanda cerca de 800 veces su volumen inicial en cuestión de milisegundos, lo que genera una micro explosión en el punto de contacto **[3]**. El gas de CO_2 se expande a lo largo del área de contacto, proporcionando una zona de alta presión centrada entre la superficie y las partículas de revestimiento térmicamente fracturadas, lo cual hace que éstas sean expulsadas con facilidad. La Figura 1.5, muestra el trayecto de una partícula de hielo seco cuando es proyectada contra una superficie.

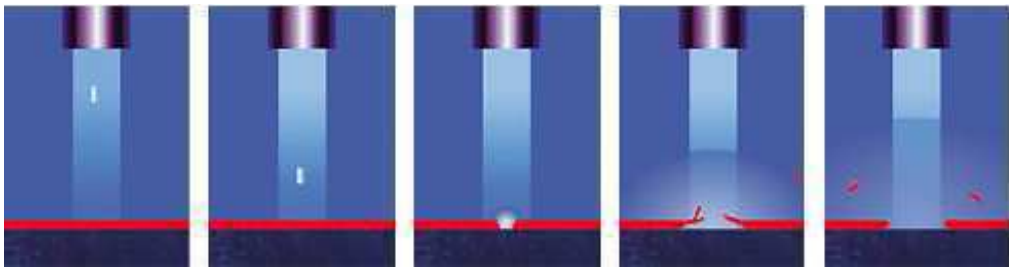


Figura 1.5VISUALIZACIÓN GRÁFICA DE LA INCIDENCIA DE UNA PARTÍCULA DECO_2 SÓLIDO SOBRE UNA SUPERFICIE.

Las ventajas más importantes del ICEBLASTING son:

1. **Es un Proceso de Limpieza Seco.**

   Al incidir el hielo seco sobre una superficie, éste se sublima y pasa directamente de estado sólido a fase gaseosa sin pasar por estado líquido.

   Se podría tener pequeñas cantidades de condensado debido a la humedad contenida en el aire sumado al enfriamiento de la superficie, pero puede ser manejable conociendo técnicas de aplicación del ICEBLASTING para estos casos e incluyendo un secador de aire comprimido.

   En la Figura 1.6 se muestra la limpieza criogénica de un panel de control energizado de un buque de transporte de combustible ubicado en el Puerto Marítimo de la Isla Trinitaria, el cual se realizó con el equipo MicroClean marca COLD JET, con un flujo másico de hielo seco granizado de 0.3 kg/min., un caudal de aire de 25 cfm.a 60 Psi.de presión y un secador frigorífico para aire comprimido con 6 ºC.de punto de rocío.

Figura 1.6LIMPIEZA DE PANEL DE CONTROL.

2. Un Método Ecológico.

Reemplaza el uso de químicos tóxicos y detergentes que son perjudiciales para la salud humana y el medio ambiente. Además se evitan los procesos posteriores de evacuación, almacenaje y transporte de agua contaminada a plantas depuradoras, los cuales tienen un alto costo. Con la limpieza criogénica solo es necesario barrer o aspirar la suciedad desprendida.

El método de ICEBLASTING no aporta CO_2 al medio ambiente, ya que el CO_2 se produce como subproducto de otros procesos (porEj: en procesos de combustión, fermentación de productos

como la caña de azúcar, yacimientos, etc.). Por ello, en los países industrializados el CO2 ya no se produce por separado, y la quema de combustibles fósiles para la producción de CO2 ha desaparecido en gran proporción.

3. Un Método no Abrasivo.

El hielo seco no daña la superficie del objeto tratado, tal como puede ocurrir con el uso de cepillos de metal, espátulas u otros métodos de chorro con partículas abrasivas. Puede limpiar desde el deterioro provocado por el moho en los libros hasta finas capas de óxido en partes mecánicas.

Mediante el proceso se pueden limpiar delicadas herramientas cromadas o niqueladas, aleaciones de aluminio ligeras o de metal, aislantes de cables y hasta placas de circuitos sin causarles ningún daño. La Figura 1.7, ilustra el antes y después de aplicar ICEBLASTING a un alabe de turbina a gas. Esta prueba se realizó en una termoeléctrica de la ciudad de Guayaquil, con el equipo AERO 80 marca COLD JET, con un flujo másico de pellets de hielo seco de 1.5 kg/min.más un Compresor portátil marca Sullair modelo 185, para un caudal de aire necesario de 100 cfm.a 110 Psi.de presión.

Figura 1.7 ALABE DE TURBINA A GAS.

4. Mayor Productividad.

El método implica una reducción considerable de las paradas de producción y períodos inactivos que se dan debido a los mantenimientos de equipos y maquinaria, llegando incluso en algunos casos no requerir el desmontaje previo y el rearmado posterior de las máquinas o piezas, las cuales pueden ser limpiadas en su sitio de operación e incluso estando en funcionamiento.

Esta es la ventaja más visible y de mayor importancia para el usuario, debido a que es el factor que lo motiva a utilizar el ICEBLASTING como reemplazo del método tradicional de limpieza. El incremento de la producción deberá generar ganancias suficientes que cubran como mínimo los costos de la limpieza criogénica.

La Tabla 1, muestra que a diferencia de los otros métodos de limpieza por chorro, el ICEBLASTING no deja residuo alguno.

Tabla 1

COMPARACIÓN DEL ICEBLASTING CON LOS MÉTODOS DE LIMPIEZA CONOCIDOS [3].

Método de limpieza	Residuos secundarios	Conducción eléctrica	Abrasivo	Tóxico
ICEBLASTING	No	No	No	No
Limpieza por chorro de arena	Sí	No	Sí	*
Limpieza por chorro de sosa	Sí	No	Sí	*
Limpieza por chorro de granalla	Sí	No	Sí	No
Limpieza por chorro de agua	Sí	Sí	No	*
Productos Químicos	Sí	N/D	No	Sí
Herramientas eléctricas	No	N/D	Sí	N/D
Herramientas manuales	No	N/D	Sí	N/D

* Con el contacto, los materiales de limpieza tradicionales quedan contaminados cuando se utilizan para limpiar sustancias y objetos peligrosos. Estos materiales de limpieza también están clasificados como residuos tóxicos y requieren un desecho seguro y adecuado.

Entre las desventajas del ICEBLASTING, se muestran las siguientes:

- La capacidad de almacenamiento del CO_2 sólido, no puede ser prolongado, porque en función del clima y el tipo de aislamiento del contenedor, la sublimación habitual de hielo seco es del 2% al 10% diario **[4]**.
- El alto costo del hielo seco y de los equipos.
- Altas concentraciones de CO_2 en los alrededores donde se realiza el ICEBLASTING.
- El tiempo que toma producir el hielo seco pelletizado impide que se pueda dar el servicio de manera inmediata.
- En aplicaciones prolongadas en una misma zona, se podría generar condensación en la superficie.

Aplicaciones.

Se pueden remover pinturas, lacas, adhesivos, depósitos de carbono y aceite, cera, residuos de productos alimenticios, productos bituminosos, sedimentos plásticos, espuma, finas capas de oxido, entre otros.

Del mismo modo, objetos delicados como paneles de control u otros componentes eléctricos se pueden limpiar sin implicar daño alguno, siempre y cuando sea realizado por un técnico especializado y siguiendo las recomendaciones del caso.

Dado que el procedimiento no es abrasivo, se recomienda especialmente para la limpieza de todo tipo de moldes, cajas de machos, moldes de inyección, moldes de colada a presión, moldes de panadería, ornatos municipales, restauración de la madera y partes afectadas por el humo de un incendio, entre otros.

Entre las industrias que utilizan el método de limpieza ICEBLASTING están las: alimenticias y de bebidas, plásticas, gráficas, maderera, farmacéutica, eléctrica, metalúrgica, automotriz, aeroespacial, naviera, petrolera, entre otras.

En la Figura 1.8, se muestra un motor eléctrico de 100 hp, antes y después de aplicar la limpieza criogénica.

En la Figura 1.9, se observa una pieza de un motor a diesel, a la cual le fue aplicado el ICEBLASTING de manera parcial, para poder apreciar la diferencia.

La Tabla 2 muestra que un consumo promedio de 1.5 kg/min.de pellets es suficiente para obtener un optimo grado de limpieza.

Figura 1.8 APLICACIÓN DE ICEBLASTING A UN MOTOR ELÉCTRICO.

Figura 1.9 APLICACIÓN DE ICEBLASTING A TURBO DE MOTOR A DIESEL DE UN BARCO.

Tabla 2

PARÁMETROS DURANTE TRABAJOS DE ICEBLASTING REALIZADOS.

Elemento	Hielo Seco	Aire Comprimido (SCFM)	Presión (Psi)	Consumo Hielo Seco (kg/min)
Motor Eléctrico	Granizado	30	65	0.5
Alabes Turbina	Pellets	100	80	1.5
Imprenta (Tintas)	Pellets	60	90	1.2
Depositos de Carbono y Aceites	Pellets	100	110	1.5
Panel de Control	Granizado	25	60	0.3

Datos tomados en base a trabajos realizados con equipos marca COLD JET en la ciudad de Guayaquil.

En la Tabla 3, se puede apreciar que en la mayoría de los elementos, con el ICEBLASTING el tiempo de duración de la limpieza es reducido en más de un 80% en promedio en comparación con los métodos tradicionales utilizados.

Tabla 3

COMPARACIÓN DE SISTEMAS DE LIMPIEZA EN DIFERENTES APLICACIONES.

ELEMENTO	LIMPIEZA TRADICIONAL	ICEBLASTING
Motor Eléctrico 100 HP		
Horas de limpieza	8	1.5
Personas	1	1
Uso de tóxicos	Si	No
Nivel de limpieza	90%	95%
Costo Aproximado	$50.00	$180.00
Imprenta		
Horas de limpieza	14	4
Personas	2	1
Uso de tóxicos	Si	No
Nivel de limpieza	75%	90%
Costo Aproximado	$60.00	$700.00
Turbo Motor Diesel		
Horas de limpieza	5	0.25
Personas	1	1
Uso de tóxicos	Si	No
Nivel de limpieza	85%	95%
Costo Aproximado	$20.00	$45.00
Turbina a Gas		
Horas de limpieza	32	8
Personas	2	1
Uso de tóxicos	No	No
Nivel de limpieza	60%	90%
Costo Aproximado	$250.00	$1,200.00

Tabla de estimaciones de tiempo y costo, realizada en base a pruebas realizas en la ciudad de Guayaquil.

1.3 Propiedades del CO_2 Sólido (Hielo Seco).

Su número de CAS es: 124-38-9 UN1013 (gas); UN2187 (líquido); UN1845 (sólido).

El anhídrido carbónico o dióxido de carbono es un gas resultante de la combinación del carbono y oxígeno. Se produce por la combustión del carbón o los hidrocarburos, la fermentación de los líquidos y la respiración de los humanos y de los animales. El CO_2.es un gas de olor ligeramente picante, incoloro y más pesado que el aire.

Como datos estadísticos y para conocimiento general, los combustibles fósiles que se consumen en las plantas eléctricas son la principal fuente de CO_2 llegando a ser más de la tercera parte tal como se muestra en la Figura 1.10; luego le siguen el transporte y la industria.

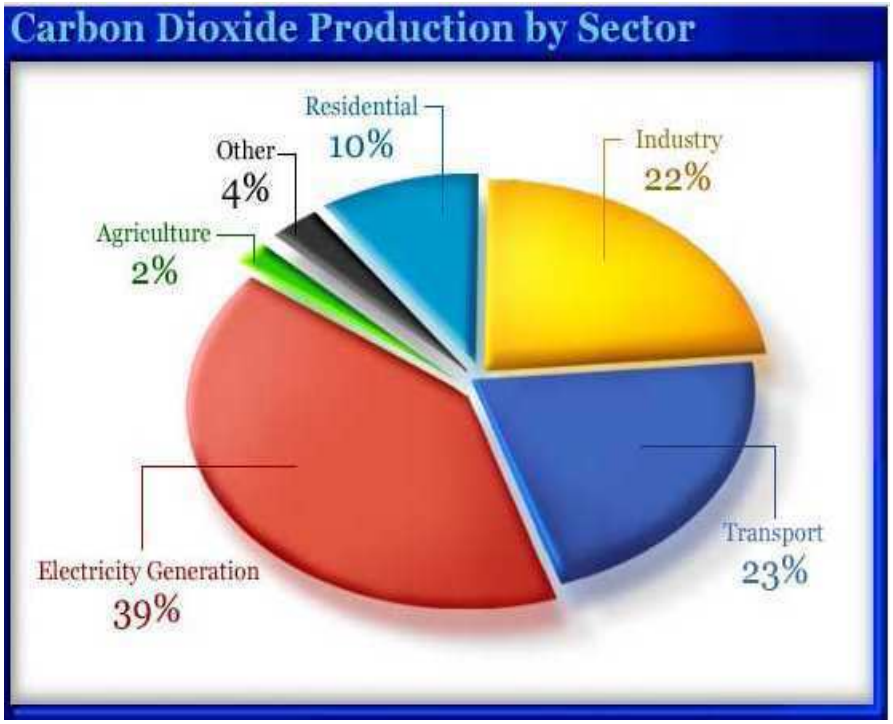


Figura 1.10 PRODUCCIÓN MUNDIAL DE CO_2 POR SECTOR [5].

En el 2004 se liberó alrededor 26 mil millones de toneladas métricas de CO_2 a la atmósfera a través del consumo de combustibles fósiles; más de cuatro toneladas métricas (4,4 toneladas americanas) por cada persona que habita este mundo, tal como se muestra en la Figura 1.11.

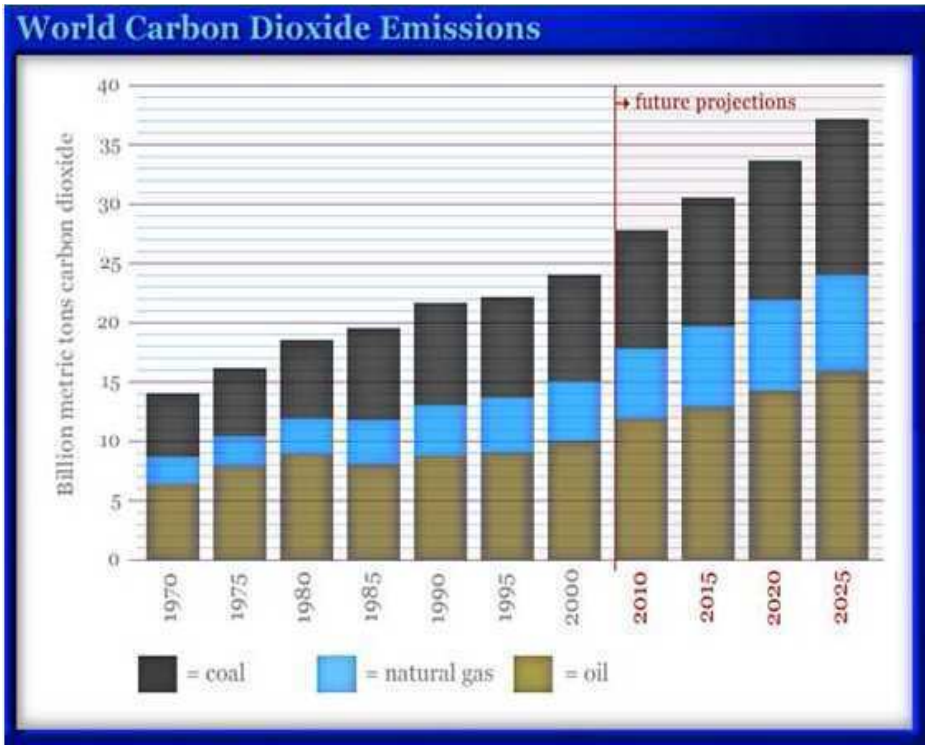


Figura 1.11 EMISIÓN MUNDIAL DE CO_2 POR AÑO PROVENIENTE DE COMBUSTIBLES FÓSILES [5].

Para más propiedades físicas del CO_2 véase la Tabla 4.

Tabla 4

PROPIEDADES PRINCIPALES DEL CO_2 [6].

Tabla de propiedades del CO2		
	Peso molar	44.01 g/mol
Punto crítico		
	Temperatura crítica	31 ℃
	Presión crítica	73.825 bar
	Densidad crítica	464 kg/m^3
Punto triple		
	Temperatura del punto triple	-56.6 ℃
	Presión del punto triple	5.185 bar
Fase sólida		
	Calor latente de fusión (1,013 bar, en el punto triple)	196.104 kJ/kg
	Densidad del sólido	1562 kg/m^3
Fase líquida		
	Calor latente de vaporización (1.013 bar en el punto de ebullición)	571.08 kJ/kg
	Densidad del líquido (a -20 ℃ (o -4 ℉) y 19.7 bar)	1032 kg/m^3
	Equivalente Líquido/Gas (1.013 bar y 15 ℃ (por kg de sólido))	845 vol/vol
	Presión de vapor (a 20 ℃ o 68 ℉)	58.5 bar
	Punto de ebullición (Sublimación)	-78.5 ℃
Fase gaseosa		
	Densidad del gas (1.013 bar en el punto de sublimación)	2.814 kg/m^3

Densidad del Gas (1.013 bar y 15 ℃ (59 ℉))	**1.87 kg/m^3**
Factor de Compresibilidad (Z) (1.013 bar y 15 ℃ (59 ℉))	**0.9942**
Gravedad específica (aire = 1) (1.013 bar y 21 ℃ (70 ℉))	**1.521**
Volumen Específico (1.013 bar y 21 ℃ (70 ℉))	**0.547 m^3 /kg**
Capacidad calorífica a presión constante (Cp) (1.013 bar y 25 ℃ (77 ℉))	**0.037 kJ/(mol.K)**
Capacidad calorífica a volumen constante (Cv) (1.013 bar y 25 ℃ (77 ℉))	**0.028 kJ/(mol.K)**
Razón de calores específicos (Gama:Cp/Cv) (1.013 bar y 25 ℃ (77 ℉))	**1.293759**
Viscosidad (1.013 bar y 0 ℃ (32 ℉))	**0.0001372 Poise**
Conductividad Térmica (1.013 bar y 0 ℃ (32 ℉))	**14.65 mW/(m.K)**

1.4 Producción de CO_2 Sólido (Hielo Seco).

El hielo seco se obtiene expandiendo isoentálpicamente el CO_2 líquido, hasta la presión atmosférica o una presión menor a la del punto triple, tal como se muestra en la Figura 1.12. Debido a esto, el CO2 líquido se transforma en nieve carbónica, la cual posteriormente es comprimida mediante un cilindro hidráulico para obtener finalmente el CO_2 sólido de altadensidad en bloques de distintas dimensiones. Para obtener los pellets, un cilindro hidráulico a demás de compactarlo, ejerce una fuerza que extruye el hielo seco a través de un molde dándole la forma de cilindros de 3mm.de diámetro.

En la Figura 1.13, se puede apreciar del diagrama termodinámico P vs H, que solo el 40 - 45% del CO_2 líquido ingresado al sistema, se transforma en sólido, el otro 55 – 60 % se convierte en vapor de dióxido de carbono.

Elgas residual generado durante el proceso, puede serlicuado nuevamente con una planta de recuperaciónde CO_2.

La densidad de la nieve carbónica no compactada está entre 600 - 800 kg/m^3, y el hielo seco tiene una densidad máxima de 1562 kg/m^3. Las densidades varían de acuerdo al método que se utilice para la formación del hielo seco **[7]**.

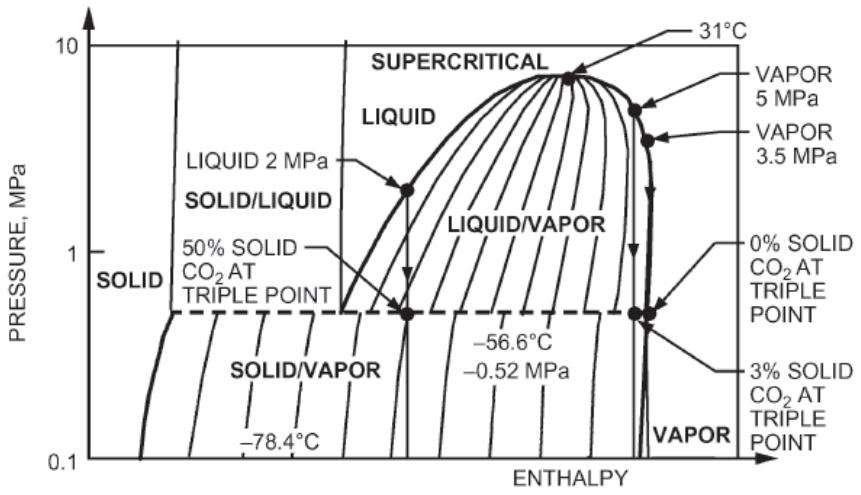


Figura 1.12 DIAGRAMA PRESIÓN VS TEMPERATURA DEL CO_2[8].

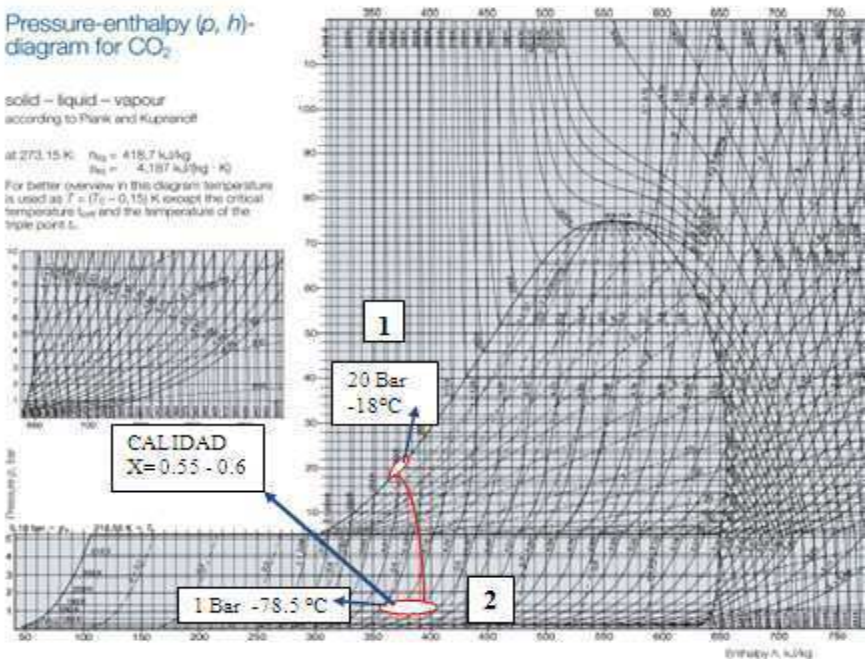


Figura 1.13 DIAGRAMA TERMODINÁMICO PRESIÓN VS ENTALPÍA DEL CO_2 [9].

Tamaños y formas del CO_2 sólido.

Bloques.

Los bloques de CO_2 se utilizan para mantener fríos los productos que son enviados y almacenados durante un largo periodo de tiempo. Hoy en día, los bloques de CO_2 se pueden usar para limpieza criogénica. Los tamaños de bloques estándar varían entre países y continentes. Las dimensiones de los bloques estándar en Ecuador son 250x250x125 mm.y su densidad está próxima a 1500 kg/m^3.

Nuggets.

Con tamaños de hasta 19 mm.de diámetro, los nuggets de CO_2 se suelen usar para empaquetar y enviar, productos, alimentos y medicinas. Su densidad es mayor a 1200 kg/m^3. En la Figura 1.14 se puede apreciar un equipo produciendo nuggets, y la forma de éstos al final del proceso.

Figura. 1.14. NUGGETS DE CO_2.

Láminas.

Las láminas o placas de CO_2 se suelen usar, sobre todo, en el sector del catering para aviones, porque el tamaño típico de una placa de 19 mm.encaja perfectamente en los carritos de comidas.

Pellets.

Los pellets de CO_2 son similares a granos de arroz de 3 mm.de diámetro y se utilizan principalmente para la limpieza criogénica. Se ha vuelto común que los procesadores de alimentos usen los pellets para congelar la comida, a causa de su velocidad de sublimación. Su tamaño es de 3 mm y su densidad está próxima a 1560 kg/m^3.

En la Figura 1.15 se puede observar que el hielo seco cuando es extruido, forma cilindros largos de hielo seco, los cuales se fracturan fácilmente para así formar los pellets.

Figura 1.15PELLETS DE CO_2 DE 3MM.

CAPÍTULO 2

2. CARACTERÍSTIZACION DEL PROBLEMA Y ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN.

Un nuevo método de limpieza llamado ICEBLASTING o limpieza criogénica, está empezando a ser utilizado en el país.

En este capítulo describiremos el problema que tiene en proveerse de CO_2 pelletizado una empresa que da el servicio de ICEBLASTING y las posibles alternativas de solución que se tiene; las cuales serán debidamente evaluadas mediante una matriz de decisión que permita elegir la mejor opción disponible.

2.1. Descripción del Problema.

Este proceso utiliza grandes cantidades de CO_2 sólido pelletizado, lo cual hace necesaria la existencia de una fuente estable para suplir la demanda y el oportuno despacho al menor costo posible.

La empresa que da el servicio de ICEBLASTING, actualmente compra el CO_2 en bloques de 5 y 25 kg; estos son cortados e ingresados en un molde de acero inoxidable, que con la ayuda de un cilindro hidráulica, lo extruye a través de una matriz con agujeros de 3 mm.de diámetro.

Actualmente se tiene dos proveedores de CO_2 en estado sólido, a los cuales se loa llamará A y B: El proveedor A entrega el producto en bloques de 5 kg.a un precio conveniente, pero tiene muchos problemas operativos durante el año, por lo tanto el abastecimiento los 365 días del año no es confiable. El proveedor B entrega el producto en bloques de 25 kg,tiene buena confiabilidad de abastecimiento durante todo el año, pero su costo es 20% mayor al del proveedor A

Otro inconveniente que se tiene es por la solicitud del hielo seco que se tiene que hacer con un día de anticipación como mínimo, lo cual sumado al tiempo que toma hacer los pellets, no permite que

se pueda brindar el servicio de manera inmediata. Además, se termina dependiendo de manera sensible a agentes externos.

Adicional a esto, durante la manipulación del hielo seco, transporte, corte de bloques en pedazos para que quepan en el molde, gasificación por interacción con el medio ambiente, entre otros, se generan pérdidas de materia prima de hasta un 30%.

Todos estos factores hacen que la empresa que da el servicio de ICEBLASTING piense en una opción para producir hielo seco que le dé rapidez de respuesta, flexibilidad en la producción, eficiencia, seguridad en el abastecimiento y un precio de kg.de pellets de hielo seco que le permita ser más competitivo para con los métodos tradicionales de limpieza.

2.2. Alternativas de Solución.

El producir el hielo seco y extruirlo en un mismo proceso es la opción más indicada para resolver los inconvenientes actuales. Para esto se tienen dos alternativas:

a) Importar un equipo que transforme el CO_2 líquido en CO_2pelletizado, con capacidad de producción aproximada de 100

kg. por hora, con un precio FOB cercano a los $ 40.000 dólares **[3].**

Ventajas

1.- Muchas máquinas y equipos disponibles en diferentes modelos.

2.- Garantía, stock de repuestos y asesoría técnica.

3.- Buen control del proceso y de calidad.

Desventajas

1.- Costo de inversión inicial alto.

2.- Requiere un tiempo de espera de 12 semanas para la llegada de los equipos.

b) Diseñar y Construir un equipo que transforme el CO_2 líquido en CO_2pelletizado, con capacidad de producción aproximada de 100 kg por hora.

Ventajas

1.- Costo inicial menor al de un equipo importado.

2.- Uso de mano de obra nacional.

3.- Evita fuga de divisas.

Desventajas

1. Requiere un periodo de diseño.
2. Un stock de repuestos principales debe ser manufacturado.
3. El equipo está propenso a rediseños.

2.3. Matriz de Decisión.

Se hará una calificación del 1 al 10, siendo 10 la más alta puntuación y 0 la más baja, con la respectiva ponderación de cada punto a evaluar. En la Tabla 5, se puede observar los puntajes referentes a las alternativas de solución propuestas.

Tabla 5

MATRIZ DE DECISIÓN.

		Alternativa a: Importar un equipo de producción de CO_2 pelletizado		Alternativa b: Diseñar un equipo de producción de CO_2 pelletizado	
Atributo	**FP**	**Calificación**	**Puntos**	**Calificación**	**Puntos**
Costo de la inversión	60%	6	3.6	9	5.4
Eficiencia del equipo	15%	7	1.05	6	0.9
Problemas inherentes a la producción	15%	8	1.2	6	0.9
Calidad del producto	10%	9	0.9	8	0.8
Total	100%		6.75		8

Bajo estos parámetros de evaluación, se decidió que la mejor alternativa es la opción b). Uno de los parámetros más preponderantes fue el costo inicial del equipo. Además, el equipo fabricado nacionalmente promovería el desarrollo de tecnología y conocimientos, evitaría fuga de divisas y utilizaría mano de obra nacional. La alternativa a) queda descartada porque implica una mayor inversión inicial y en la calificación global efectuada en la matriz de decisión, no superó en puntaje a la alternativa b).

CAPÍTULO 3

3. DISEÑO DE EQUIPO PARA PRODUCIR CO_2PELLETIZADO.

El equipo a diseñar, es un productor y extrusor de hielo seco, con capacidad para producir 100 kg/hr.de pellets de 3 mm.de diámetro.

El hielo seco es producido por la inyección de CO_2 líquido en la cámara de formación, donde mediante la expansión a entalpia constante se forma la nieve carbónica, la cual luego es compactada y extruida por un

cilindro hidráulico a través de una matriz de extrusión, para así finalmente obtener los pellets de hielo seco.

3.1. Diseño de forma.

El equipo pelletizadorse diseñará para que sea compacto, de tal forma que ocupe lo mínimo de espacio y que su forma, tamaño y diseño lo hagan fácil de transportar (véase Figura 3.1).

Estará conformado por los siguientes elementos:

- Cámara de formación; que es donde se va a inyectar y a extruir el hielo seco.
- Conjunto matriz de extrusión; que son los moldes y dados de extrusión.
- Cilindro o pistón de compresión de nieve carbónica.
- Sistema hidráulico; el cual incluye una central hidráulica con un sistema de refrigeración de aceite enfriado por aire, un cilindro hidráulico y válvulas de control.
- Tensores; que son los que soportan las fuerzas de reacción generadas por el cilindro hidráulico.

- Válvula de estrangulación; que es quien estrangula el paso de CO_2 líquido para que se forme nieve carbónica en la cámara de formación.
- Sistema de control y PLC.
- Válvulas, electroválvulas y actuadores operados por medio de vapor de CO_2.

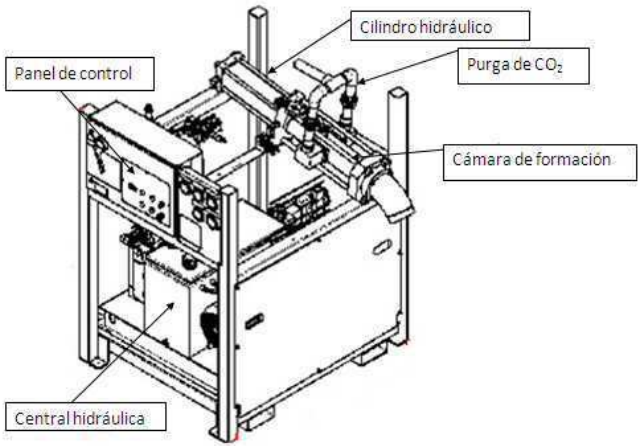


Figura 3.1DISEÑO DE FORMA DE PELLETIZADORA.

3.2. Diseño de la Matriz de Extrusión.

La matriz de extrusión será de forma circular, y constará básicamente de tres partes:

a) Matriz primaria.

b) Matriz secundaria.

c) Placa soporte.

En la Figura 3.2 se aprecia una vista frontal de lo que sería la matriz de extrusión.

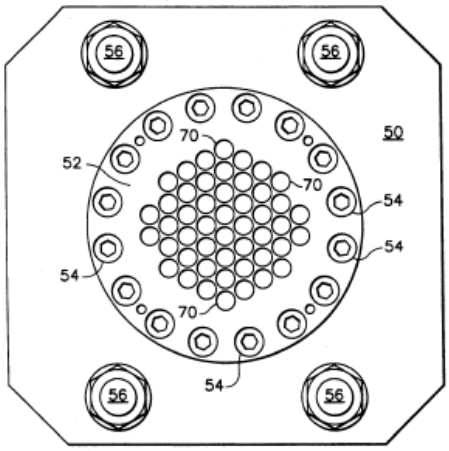


Figura 3.2 DISEÑO DE FORMA MATRIZ DE EXTRUSIÓN.

La matriz primaria tiene la función de cortar el hielo seco en diámetros de 3mm.y formar los pellets, mientras que la matriz secundaria le sirve a la matriz primaria de soporte y a la vez de guía para los pellets. La placa soporte sirve de tope y sujeción a la matriz secundaria.

Para el diseño del conjunto matriz de extrusión se tomaron en cuenta factores como:

- Condiciones de trabajo (condensados de vapor de agua y temperaturas bajo cero de -78ºC).

- La relación de áreas de la matriz primaria y secundaria (razón entre el área total de la matriz y el área perforada, véase Apéndice A2).
- Diseño de forma, basado en equipos de similares características.
- Facilidades de montaje y desmontaje.
- Economía en el diseño.
- Facilidad en la limpieza.
- Facilidad en el mecanizado.

Parámetros.

- Los orificios de la matriz primaria serán de 3mm. de diámetro, por ser una medida estándar utilizada por los mayores fabricantes de equipos para ICEBLASTING.
- El diámetro útil de las matrices será de 101.6 mm.
- La presión que se ejercerá sobre el área útil será de aproximadamente 49 MPa. Esta presión fue calculada en base a datos experimentales (véase Apéndice A2).
- Las matrices soportarán esfuerzos cíclicos; serán diseñadas para soportar mínimo diez años de servicio continuo, lo que representa aproximadamente un millón de ciclos.

- El material estará expuesto a temperaturas bajo cero, cercanas a -78ºC. Para las matrices y la placa soporte se seleccionará un acero inoxidable, resistente a la corrosión, y de buenas propiedades mecánicas.
- La relación de áreas no debe ser mayor a 5 (véase Apéndice A2).

Diseño

El diseño del conjunto matriz de extrusión se lo realizó con la ayuda de la herramienta de simulación del programa SOLIDWORKS®.

Se realizaron varios diseños preliminares y cada uno con su correspondiente análisis. La Figura 3.3 muestra los diferentes diseños realizados durante el proceso de diseño. En la Tabla 6se observa que la opción d) es la más idónea para la aplicación, puesto que tiene el menor esfuerzo máximo y mayor factor de seguridad.

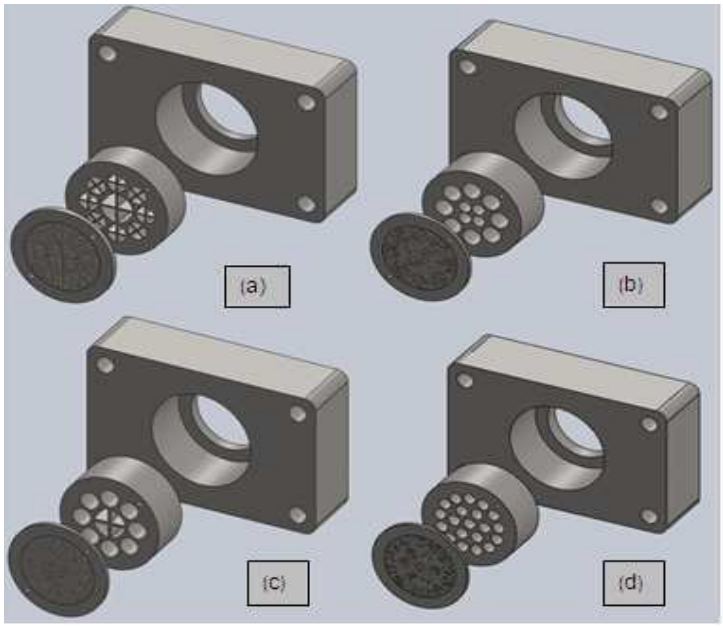


Figura 3.3 (a) PRIMER DISEÑO PROPUESTO; (b) SEGUNDO DISEÑO PROPUESTO; (c) TERCER DISEÑO PROPUESTO; (d) CUARTO DISEÑO PROPUESTO.

Tabla 6

COMPARACIÓN DE LOS DISEÑOS REALIZADOS.

COMPARACIÓN DE DISEÑOS				
DISEÑO	ESFUERZO MÁXIMO (MPa)	MÍNIMO FACTOR DE SEGURIDAD		
		MATRIZ PRIMARIA	MATRIZ SECUNDARIA	PLACA SOPORTE
a	410	2,34	2,73	5,46
b	613,84	1,46	1,71	3,42
c	442,4	2,03	2,37	4,74
d	324,68	2,77	3,24	6,48

Para la matriz primaria (véase Planos No. 1 y 2), su diseño es de sección circular, de diámetro útil de 101.6 mm. En ésta caben 280

agujeros de 3mm de diámetro, uniformemente distribuidos. La relación de áreas de la matriz primaria es 4:1. El espesor de la matriz primaria es 5mm. El material seleccionado es un acero norma DIN 1.2316 X36CrMo17 (véase Apéndice C1), con excelente tenacidad, resistente a la corrosión, resistente al desgaste, optimo para trabajos a bajas temperaturas y comúnmente usado en la industria plástica en moldes.

En la matriz secundaria (véase Plano No. 3), su diseño es de sección circular, de diámetro útil de 101.6mm. En ésta caben 20 agujeros de 17mm de diámetro, uniformemente distribuidos. La relación de área total y área perforada de la matriz secundaria es 1.8. El material seleccionado es un acero DIN 1.2316 X36CrMo17.

La placa soporte (véase Plano No. 4) es de sección rectangular, con una cavidad interna para la matriz primaria y secundaria. Asimismo tiene cuatro agujeros distribuidos uniformemente en sus esquinas, donde se pasan los tensores.

Es necesario restituirle las propiedades mecánicas de las piezas, homogenizando la dureza y reduciendo al máximo las tensiones ocasionadas por el maquinado, lo cual se logra con un tratamiento térmico de alivio de tensiones o normalizado (véase Apéndice C2). Asimismo es importante dar un tratamiento termoquímico de

nitruración o TENIFER a las piezas después de realizado el maquinado, porque así se lograque puedan tener nuevamente propiedades de resistencia a la corrosión, que se pierden durante el maquinado. Además la nitruración ayuda a mejorar la resistencia al desgaste, la resistencia a la fatiga y aumenta la dureza. Delnitrurado se obtendrá un espesor de capa de aproximadamente 25.4 micras.

Análisis estático de la matriz de extrusión

Para el análisis estático se realizó el ensamble del conjunto, tal como se muestra en las Figuras 3.4 y 3.5.

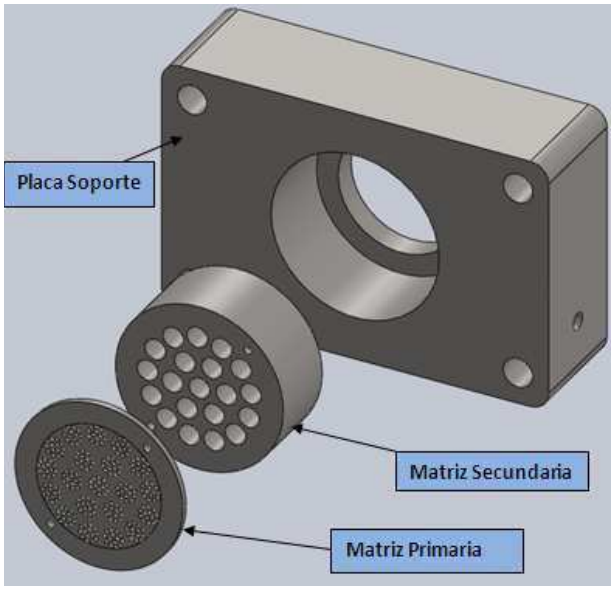


Figura3.4MATRIZ PRIMARIA, MATRIZ SECUNDARIA, PLACA-SOPORTE.

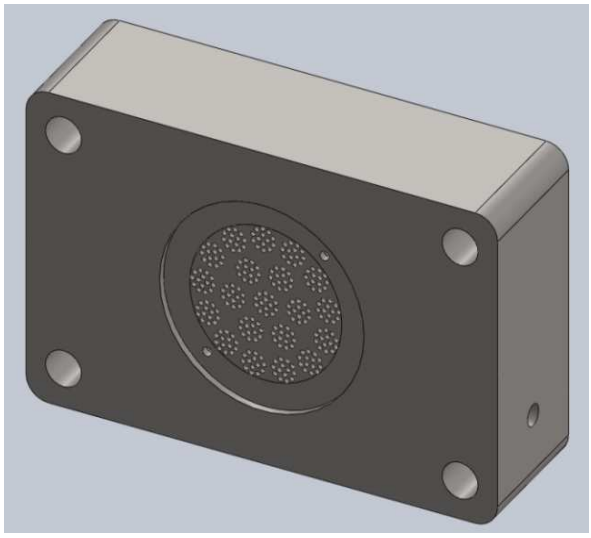


Figura3.5 ENSAMBLE DELCONJUNTO MATRIZ PRIMARIA, MATRIZ SECUNDARIA Y PLACA-SOPORTE.

En base a datos experimentales realizados, como la relación de área de la matriz primaria es cercana a 4.1, la presión máxima de trabajó para la matriz primaria, secundaria y la placa soporte, sería de 41 MPa. (véase Apéndice A).

En base a criterio de diseño y considerando posibles factores, se asumió una máxima presión de trabajo de 49 MPa, es decir una carga un 20% adicional. En la Figura 3.6 se aprecia el área donde incide la fuerza durante la compresión, y las sujeciones que tendrá el conjunto.

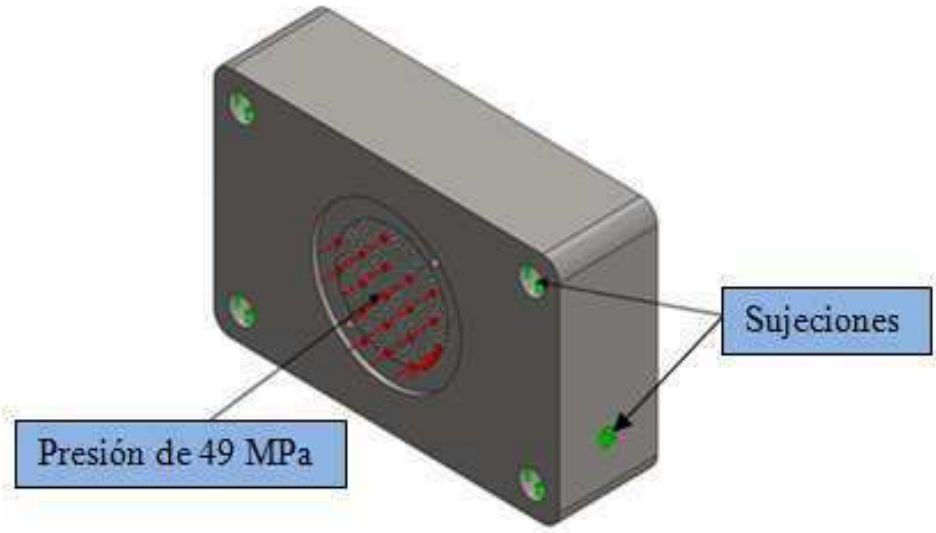


Figura3.6REPRESENTACIÓN DE LAS SUJECIONES Y EL ÁREA DONDE SE EJERCE PRESIÓN.

En la Figura 3.7 se muestra el conjunto mallado y en la Tabla 7 la información de la malla.

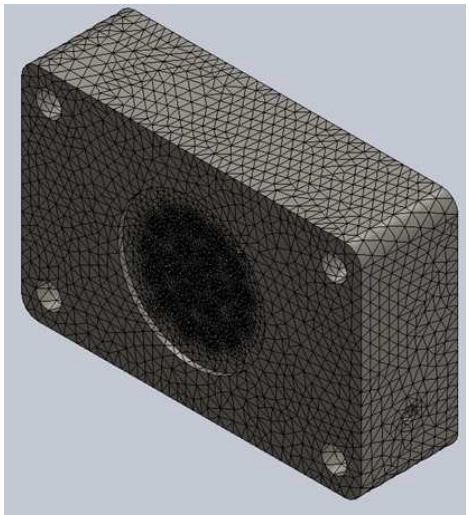


Figura3.7REPRESENTACIÓN DE CONJUNTO MALLADO DE LA MATRIZ DE EXTRUSIÓN.

Tabla 7

INFORMACIÓN DE MALLA DE LA MATRIZ DE EXTRUSIÓN.

Tipo de malla	Sólida
Mallador utilizado	Basado en curvatura
tamaño máximo de elemento	10 mm
tamaño mínimo de elemento	2 mm
Número total de nodos	184922
Número total de elementos	116705

Las Figuras 3.8 y 3.9 muestran la variación del esfuerzo de von Mises y la deformación unitaria equivalente del conjunto, respectivamente.

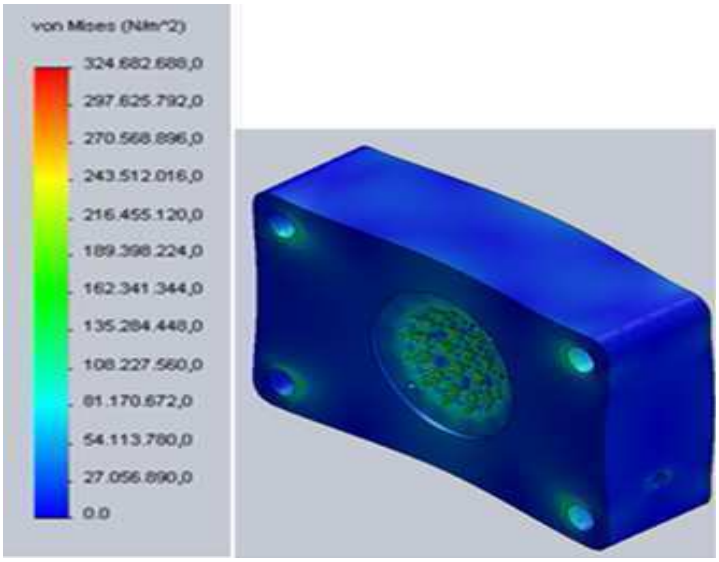


Figura3.8REPRESENTACIÓN DEL ESFUERZO DE VON MISES EN EL CONJUNTO DE EXTRUSIÓN, CON UNA ESCALA DE DEFORMACIÓN DE 450X VECES LA DEFORMACIÓN REAL.

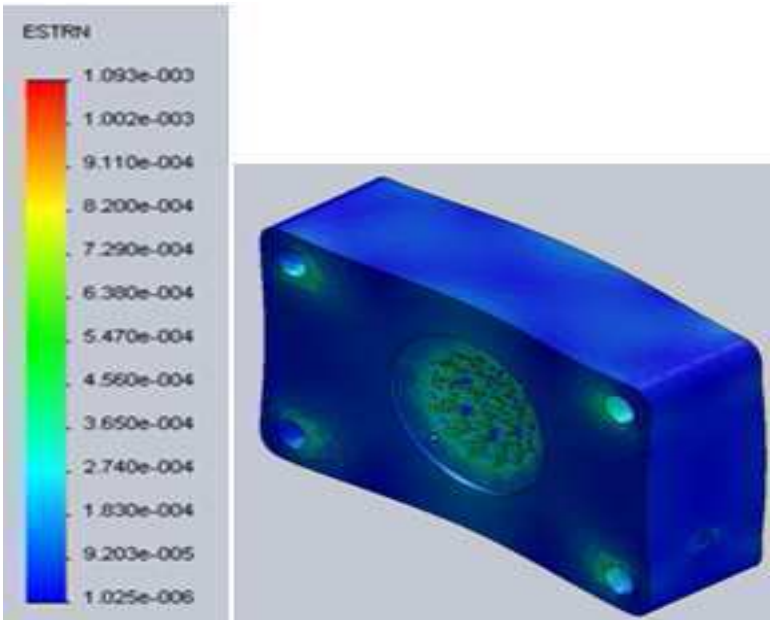


Figura3.9REPRESENTACIÓN DE LA DEFORMACIÓN UNITARIA EQUIVALENTE DEL CONJUNTO DE EXTRUSIÓN, CON UNA ESCALA DE DEFORMACIÓN DE 450X VECES LA DEFORMACIÓN REAL.

La Figura 3.10 muestra la distribución del factor de seguridad en el conjunto. En el análisis estático, los factores de seguridad mínimos en la matriz primaria, matriz secundaria y placa-soporte son 2.77, 3.24, y 6.48, respectivamente.

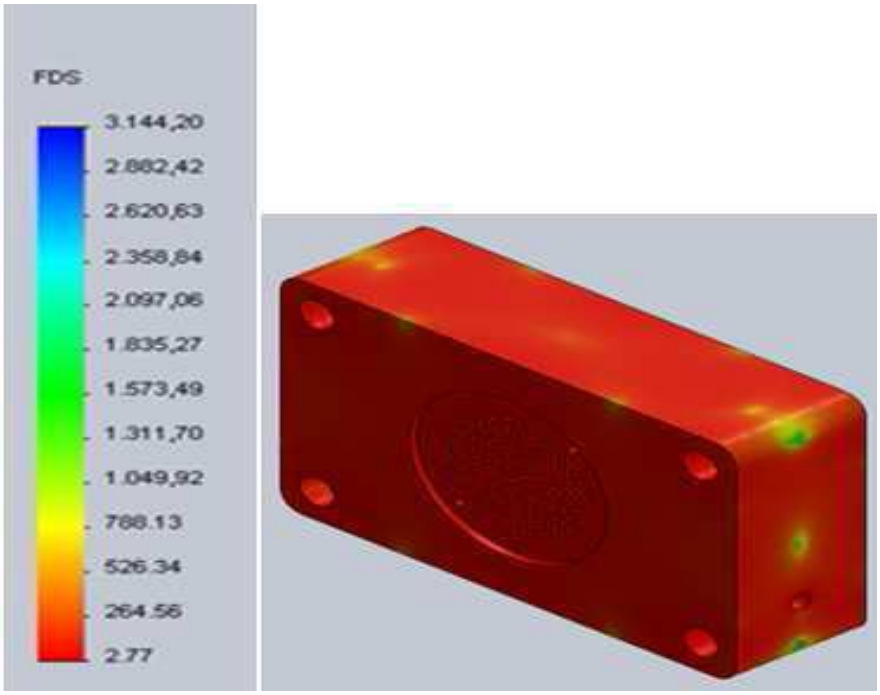


Figura3.10DISTRIBUCIÓN DEL FACTOR DE SEGURIDAD EN EL CONJUNTO DE EXTRUSIÓN.

La Tabla 8 muestra que la matriz primaria es la que menor factor de seguridad tiene, por tratarse del molde de menor espesor.

Tabla 8

RESUMEN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN EL ANÁLISIS ESTÁTICO AL CONJUNTO DE EXTRUSIÓN UTILIZANDO SOLIDWORKS®.

Resultados del Anàlisis Estático							
Descripción	**Unid.**	**X**	**Y**	**Z**	**Resultante**	**mín**	**máx**
Fuerzas	N	-10,2	13,05	300515	300515		
Esfuerzo de von Mises	MPa	-----	-----	-----	-----	0	324,68
Deformación unitaria equivalente	-----	-----	-----	-----	-----	1.02x 10^{-6}	9.06x 10^{-3}
Factor de seguridad (Matriz Primaria)	-----	-----	-----	-----	-----	2,77	283,72
Factor de seguridad (Matriz Secundaria)	-----	-----	-----	-----	-----	3,24	130,91
Factor de seguridad (Placa-Soporte)	-----	-----	-----	-----	-----	6,48	3144,2

Análisis a Fatiga.

Para el análisis a fatiga se usó la teoría de Goodman modificada **[11]**.

$$\frac{\sigma_a}{S_e} + \frac{\sigma_m}{S_{ut}} = \frac{1}{n} (1)$$

Por ser una carga repetida $\sigma_a = \sigma_m = \frac{\sigma_{máx}}{2}$.

El esfuerzo máximo ($\sigma_{máx}$) obtenido del análisis estático es igual a 324.68 MPa, reemplazando los datos en $\sigma_a = \sigma_m = \frac{\sigma_{máx}}{2}$se obtiene:

$$\sigma_a = \sigma_m = \frac{324.68\ MPa}{2} = 162.34\ MPa$$

$$S_e=k_a k_b k_c k_d k_e k_f S_e^{'} \quad (2)$$

En este caso se seleccionó un acero inoxidable norma DIN 1.2316 X36CrMo17 cuyo $S_{ut} = 1100MPa$,

$$k_a = aS_{ut}^{b} \quad (3)$$

Como el material es maquinado, se tiene que $a = 4.51$ y $b = -0.265$ (véase Apéndice D1); reemplazando en (3):

$$k_a = 4.51(1100)^{-0.265} = 0.705$$

La presión que actúa normal a una de las caras de la matriz hace que el conjunto este sometido a flexión por lo que se emplea:

$$k_b = 1.51de^{-0.157} \quad 51 < de \leq 254\ mm \quad (4)$$

de donde $de = 0.808\sqrt{h\boldsymbol{b}}$ (véase Apéndice D2) y por ser rectangular la sección transversal del conjunto, se tiene que:

$h = 320mm$ y $\boldsymbol{b} = 90mm$, por lo tanto:

$$k_b = 1.51(0.808\sqrt{h\boldsymbol{b}})^{-0.157} = 0.697$$

Por estar sometido a flexión el conjunto, $k_c = 1$ según (5)

El factor de temperatura para un acero inoxidable, a una temperatura de - 78 ºC es $k_d = 1.21$.

Con 95% de confiabilidad, se tiene que $k_e = 0.868$. (véase Apéndice D4).

El material será sometido a un tratamiento termoquímico de nitruración y a un tratamiento de alivio de tensiones después del maquinado, lo cual le devolverá las propiedades mecánicas, entonces $k_f = 1$.

$$S_e^{'} = 0.5 S_{ut} para S_{ut} \leq 1400\ MPa \quad (6)$$

$$S_e^{'} = 0.5(1100 MPa) = 550\ MPa$$

Entonces S_e será:

$$S_e = (0.705)(0.697)(1)(1.21)(0.868)(1)(550) = 283.85\ MPa$$

Por lo tanto el factor de seguridad a la fatiga es:

$$n = \frac{1}{\frac{162.34}{283.85} + \frac{162.34}{1100}} = 1.38$$

Luego para hallar el número de ciclos que va a soportar la matriz de extrusión, se tiene que:

$$S_{ut} = 159.54\ ksi \qquad S_e = 41.17\ ksi$$

$f = 0.795$.

$$a = \frac{(fS_{ut})^2}{S_e} (7)$$

$$b = -\frac{1}{3} log\left(\frac{fS_{ut}}{S_e}\right) (8),$$

reemplazando en $(7) y\ (8)$se tiene:

$$a = \frac{[(0.795)(159.54\ ksi)]^2}{41.17\ ksi} = 390.74\ ksi$$

$$b = -\frac{1}{3} log\left(\frac{(0.795)(159.54\ ksi)}{41.17\ ksi}\right) = -0.1628$$

$$S_f = \frac{\sigma_a}{1 - \frac{\sigma_m}{S_{ut}}} = \frac{23.55\ ksi}{1 - \frac{23.55\ ksi}{159.54\ ksi}} = 27.63\ ksi$$

$$N = \left(\frac{S_f}{a}\right)^{1/b} (9)$$

$$\mathrm{N} = \left(\frac{27.63\ ksi}{307.28\ ksi}\right)^{1/-0.145} = 1.64\ x\ 10^7 ciclos$$

El conjunto matriz de extrusión está diseñado para soportar 16.4 millones de ciclos.

Diseño de los tensores.

Son cuatro los tensores ubicados en las esquinas de la placa-soporte (véase Figura 3.11), que sirven para sujetar el conjunto y soportar gran parte de las fuerzas de reacción generadas durante el proceso.

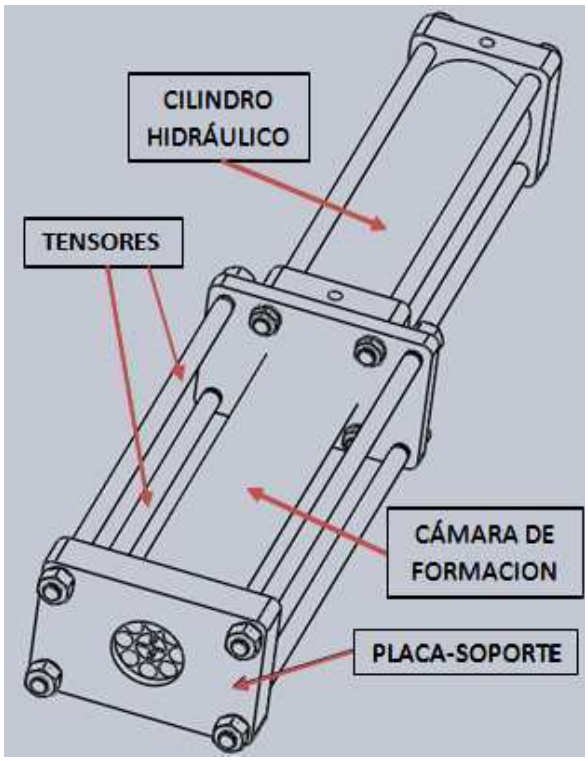


Figura 3.11TENSORES DEL CONJUNTO DE EXTRUSIÓN.

Para los tensores se selecciona un acero inoxidable AISI 304 (véase hoja técnica del material en Apéndice C3). Se puede apreciar en la Figura 3.12, que hay una carga en el eje Z que está

trabajando en axial y dos cargas trabajando en flexión en los ejes X y Y.

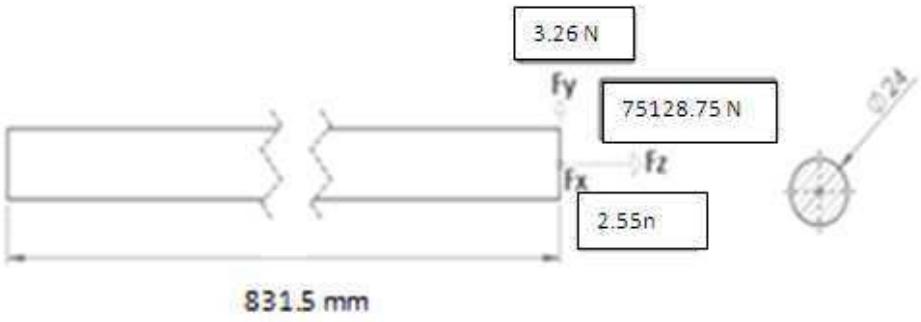


Figura 3.12 DISTRIBUCIÓN DE FUERZAS EN EL TENSOR.

Del análisis estático, se obtuvo las mayores fuerzas de reacción generadas de las sujeciones, las cuales son:

F_x= - 2.55 N F_y= 3.26 N F_z= 75128.75 N.

Se seleccionó un diámetro de 24 mm y se procedió a realizar los cálculos pertinentes, para determinar si resiste la fuerza aplicada.

AISI 304 $S_{ut} = 568\ MPa;\ S_y = 276\ MPa.$

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (10)$$

$$\sigma_z = \frac{F_z}{A} = \frac{F_z}{\frac{\pi D^2}{4}} = \frac{75128.75N}{\frac{\pi(24\ mm)^2}{4}} = 166.07\ MPa$$

$$\sigma = \frac{Mc}{I} \quad (11)$$

$$\sigma_x = \frac{M_x c}{I} = \frac{(-2.55\ N)(813\ mm)(\frac{24\ mm}{2})}{\frac{\pi(24\ mm)^4}{64}} = 1.53MPa$$

$$\sigma_y = \frac{M_y c}{I} = \frac{(3.26\ N)(813\ mm)(\frac{24\ mm}{2})}{\frac{\pi(24\ mm)^4}{64}} = 1.96MPa$$

$$\sigma_1 = \sigma_z + \sigma_x = 166.07\ MPa + 1.53MPa = 167.6\ MPa$$

$$\sigma_2 = \sigma_z + \sigma_y = 167.82MPa + 1.96MPa = 168.03MPa$$

$$\sigma'_{máx} = ({\sigma_1}^2 - \sigma_1\sigma_2 + {\sigma_2}^2)^{1/2} (12)$$

$$\sigma'_{máx} = (167.6^2 - 167.6 \times 168.03 + 168.03^2)^{1/2} = 167.82MPa$$

Por ser una carga repetida tenemos:

$$\sigma'_a = \sigma'_m = \frac{\sigma'_{máx}}{2} = \frac{167.82MPa}{2} = 83.91MPa$$

$$S_e = k_a k_b k_c k_d k_e k_f S'_e \ (2)$$

$$k_a = aS_{ut}^b \ (3)$$

El material fue laminado en frío, entonces $a = 4.51$ y $b = -0.265$, (véase Apéndice D1), reemplazando en la (3)se tiene que:

$$k_a = 4.51(568)^{-0.265} = 0.84$$

El tensor está sometido a esfuerzos de flexión y axial, por lo tanto,

$$k_b = 1.24d^{-0.107} \text{cuando} 2.79 \leq d \leq 50\ mm \quad (4)$$

$$k_b = 1.24(24)^{-0.107} = 0.88$$

$k_c = 1$ por estar sometido a flexión el conjunto (5).

$k_d = 1$ a 20 ^{0}C, (véase Apéndice D3)

Con 95% de confiabilidad, se tiene que $\mathrm{k_e} = 0.868$, (véase Apéndice D4).

Se asume $\mathrm{k_f} = 1$.

$$\mathrm{S_e^{'}} = 0.5\mathrm{S_{ut}} \ \text{para} \ \mathrm{S_{ut}} \leq 1400\ \mathrm{MPa} \quad (6),$$

$$\mathrm{S_e^{'}} = 0.5(568\mathrm{MPa}) = 284\ \mathrm{MPa}$$

Entonces S_e será:

$$\mathrm{S_e} = (0.84)(0.88)(1)(1)(0.868)(1)(284) = 182.22\ \mathrm{MPa}$$

$$\frac{\sigma_a'}{S_e} + \frac{\sigma_m'}{S_{ut}} = \frac{1}{n} \quad (1)$$

Por lo tanto el factor de seguridad a la fatiga es:

$$n = \frac{1}{\frac{83.91}{182.22} + \frac{83.91}{568}} = 1.64$$

Ahora para hallar el número de ciclos que van a soportar los tensores hasta la falla, se tiene que:

$$S_{ut} = 82.39 \text{ ksi} \qquad S_e = 26.43 \text{ ksi}$$

Se obtiene un $f = 0.87$

$$a = \frac{(fS_{ut})^2}{S_e} (7)$$

$$b = -\frac{1}{3}\log\left(\frac{fS_{ut}}{S_e}\right) (8)$$

reemplazando en (7) y (8)se tiene:

$$a = \frac{[(0.87)(82.39 \text{ ksi})]^2}{26.43 \text{ ksi}} = 194.4 \text{ ksi}$$

$$b = -\frac{1}{3}\log\left(\frac{(0.87)(82.39 \text{ ksi})}{26.43 \text{ ksi}}\right) = -0.144$$

$$S_f = \frac{\sigma_a}{1 - \frac{\sigma_m}{S_{ut}}} = \frac{12.17 \text{ ksi}}{1 - \frac{12.17 \text{ ksi}}{82.39 \text{ ksi}}} = 14.27 \text{ ksi}$$

$$N = \left(\frac{S_f}{a}\right)^{1/b} (9)$$

$$N = \left(\frac{14.27 \text{ ksi}}{194.4 \text{ ksi}}\right)^{1/-0.144} = 75.3x10^6 \text{ ciclos}$$

Los tensores resisten más de 70 millones de ciclos.

Para el diámetro del tensor que es $24\ \mathrm{mm}$, se selecciona una rosca de paso grueso de $3\ \mathrm{mm}$, (véase cálculo de la rosca en Apéndice D6).

Se selecciona dieciséis tuercas hexagonales M24x3 (véase Apéndice D6). Se selecciona dieciséis arandelas tamaño 24N(véase Apéndice D6)

3.3. Diseño de la Cámara de formación.

La cámara de formación es donde se forma y se compacta la nieve carbónica, para luego ser extruida a través de la matriz de extrusión, véase Figura 3.13. Por lo general su forma es la de un cilindro y su fabricación es en acero inoxidable.

La cámara de formación tiene un orificio roscado por donde ingresa nieve carbónica. También consta de ventanas de desfogue, las cuales sirven para evacuar los vapores de CO_2, producto de la estrangulación y evitan que la presión en el interior de la cámara se incremente. En estas ventanas se encuentran unos filtros de malla, véase Figura 3.14, los cuales impiden que escape nieve carbónica de la cámara y permiten únicamente el paso de vapor de CO_2.

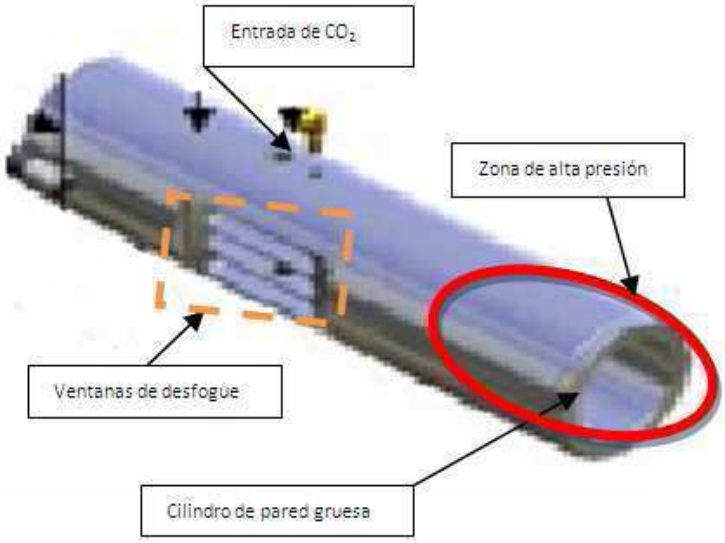


Figura 3.13CÁMARA DE FORMACIÓN.

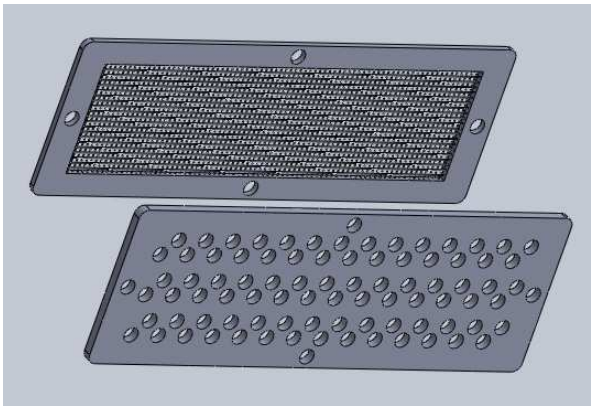


Figura 3.14FILTRO DE MALLA Y PROTECTOR.

Parámetros.

La cámara será diseñada para una capacidad de $100\,\frac{\mathrm{Kg}}{\mathrm{h}}$ de Co_2 sólido. Se sobredimensiona en 20% la capacidad del equipo, es decir, para una producción de $120\,\frac{\mathrm{Kg}}{\mathrm{h}}$.

En el extremo de la cámara, la presión interna podría alcanzar los 49 MPa. (véase Apéndice A2).

El tiempo de duración del proceso de llenado de la cámara de formación con nieve carbónica más la compactación, extrusión y retroceso del vástago del cilindro se da en 70 segundos; esto significa que debe ser capaz de producir 2.33 Kg de Co_2 pelletizado por ciclo.

Para poder calcular el volumen interno necesario para la cámara de formación, se procedió de la siguiente forma, descrita a continuación:

La densidad aproximada de la nieve carbónica esta en un rango de $500 \text{ a } 800\ \frac{\mathrm{Kg}}{\mathrm{m}^3}$. Para el cálculo de la capacidad del equipo, se tomó una densidad de $600\,\frac{\mathrm{Kg}}{\mathrm{m}^3}$.

Si durante cada ciclo de 70 segundos, se necesita una masa de CO_2 sólido de 2.33 Kg, entonces:

$$\rho = \frac{m}{V} \rightarrow V = \frac{2.33\text{Kg}}{600\ \text{Kg/m}^3} \rightarrow V = 0.00388\text{m}^3$$

Se selecciona 101.6 mm. (4 pulg) para el diámetro interior de la cámara de formación.

$$V = \frac{\pi D^2 h_c}{4} \rightarrow h_c = \frac{4V}{\pi D^2} = \frac{(4)(0.00388\text{m}^3)}{(\pi)(0.1016^2)} = 0.4785\text{m}$$

Con los resultados de los cálculos obtenidos, la cámara de formación tendrá una dimensión útil de 500mm.de longitud por 101.6 mm.de diámetro interior. Esta longitud incluye únicamente el espacio útil de la cámara de formación; a esto habrá que sumarle la medida que ocupa en su interior el cilindro de compresión de nieve carbónica (véase sección 3.4 y Plano No. 6).

Diseño de la cámara de formación.

En la cámara de formación se desarrollan esfuerzos radiales y tangenciales de magnitudes considerables, para lo cual se procedió a diseñar utilizando la teoría de cilindros de pared gruesa.

$$\sigma_t = \frac{r_i^2 p_i}{r_o^2 - r_i^2}\left(1 + \frac{r_o^2}{r^2}\right)$$

(13)

$$\sigma_r = \frac{r_i^2 p_i}{r_o^2 - r_i^2}\left(1 - \frac{r_o^2}{r^2}\right)$$

Los esfuerzos máximos ocurren en $r = r_i$, $(r_i = 50.8\ \text{mm})$.

Se seleccionó un espesor de pared de 11.64 mm, por lo tanto el radio exterior es $r_o = 62.44\ \text{mm}$.

La presión interna $p_i = 49\ \text{MPa}$.

Reemplazando estos datos en (13) se obtiene que:

$$\sigma_t = \frac{(50.8\ \text{mm})^2(49\text{MPa})}{(62.44\ \text{mm})^2 - (50.8\ \text{mm})^2}\left(1 + \frac{(62.44\ \text{mm})^2}{(50.8\ \text{mm})^2}\right) = 240.87\text{MPa}$$

$$\sigma_r = \frac{(50.8\ \text{mm})^2(49\text{MPa})}{(62.44\ \text{mm})^2 - (50.8\ \text{mm})^2}\left(1 - \frac{(62.44\ \text{mm})^2}{(50.8\ \text{mm})^2}\right) = -49\text{MPa}$$

$$\sigma'_{máx} = (\sigma_t{}^2 - \sigma_t\sigma_r + \sigma_r{}^2)^{1/2}(12)$$

$$\sigma'_{máx} = [240.87^2 - 240.87(-49) + (-49)^2]^{1/2} = 268.74\text{MPa}$$

$p_i$actúa en forma repetida, entonces se tiene que:

$$\sigma'_a = \sigma'_m = \frac{\sigma'_{máx}}{2} = \frac{268.74\ \text{MPa}}{2} = 134.37\ \text{MPa}$$

$$S_e = k_a k_b k_c k_d k_e k_f S_e^{'}\ (2)$$

$$k_a = a S_{ut}^{b}\ (3)$$

Como el material fue laminado, entonces $a = 4.51$ y $b = -0.265$, (véase Apéndice D1), reemplazando en (3) se obtiene:

$$k_a = 4.51(568)^{-0.265} = 0.84$$

La cámara de formación está sometida a esfuerzos de flexión, por lo tanto:

$$d_e = 0.370d = 0.370(124.88) = 46.21 \text{ mm}$$

$$k_b = 1.24d^{-0.107} \text{cuando} 2.79 \leq d_e \leq 51 \text{ mm} \quad (4)$$

$$k_b = 1.24(46.21)^{-0.107} = 0.823$$

$k_c = 1$ por estar sometido a flexión el conjunto, según (5).

El factor de temperatura para un acero inoxidable, a una temperatura de - 78 ºC es $k_d = 1.21$

Con 95% de confiabilidad, se tiene que $k_e = 0.868$, (véase Apéndice D4).

Se asume $k_f = 1$.

$$S_e^{'} = 0.5S_{ut} \text{para} S_{ut} \leq 1400 \text{ MPa} \quad (6)$$

Se selecciona un acero inoxidable norma DIN 1.2316 X36CrMo17 cuyo $S_{ut} = 1100\text{MPa}$, reemplazando en (6):

$$S_e^{'} = 0.5(568MPa) = 284\ MPa$$

Entonces S_e será:

$$S_e = (0.84)(0.823)(1)(1.21)(0.868)(1)(284) = 206.21MPa$$

$$\frac{\sigma'_a}{S_e} + \frac{\sigma'_m}{S_{ut}} = \frac{1}{n}(1)$$

Por lo tanto el factor de seguridad a la fatiga es:

$$n = \frac{1}{\frac{134.37}{206.21} + \frac{134.37}{1100}} = 1.29$$

En base al factor de seguridad obtenido, se puede concluir que la cámara de formación va a resistir la presión de 49 MPa.en su interior.

Luego para hallar el número de ciclos que va a soportar la cámara de formación se tiene que:

$$S_{ut} = 159.54\ ksi \qquad S_e = 29.9\ \text{ksi}$$

$f = 0.795.$

$$a = \frac{(fS_{ut})^2}{S_e}(7)$$

$$b = -\frac{1}{3}\log\left(\frac{fS_{ut}}{S_e}\right)(8),$$

Reemplazando en (7) y (8) se obtiene:

$$a = \frac{[(0.795)(159.54\ \text{ksi})]^2}{29.9\ \text{ksi}} = 538.02\ \text{ksi}$$

$$b = -\frac{1}{3}\log\left(\frac{(0.795)(159.54\ \text{ksi})}{29.9\ \text{ksi}}\right) = -0.209$$

$$S_f = \frac{\sigma_a}{1 - \frac{\sigma_m}{S_{ut}}} = \frac{19.49\ \text{ksi}}{1 - \frac{19.49\ \text{ksi}}{159.54\ \text{ksi}}} = 22.20\ \text{ksi}$$

$$N = \left(\frac{S_f}{a}\right)^{1/b} (9)$$

$$N = \left(\frac{22.20\ \text{ksi}}{538.02\ \text{ksi}}\right)^{1/-0.202} = 7x10^6\ \text{ciclos}$$

La cámara de formación está diseñada para soportar hasta 7 millones de ciclos.

Filtro de malla.

El filtro de malla, para este caso será de acero inoxidable AISI 304 o 316.

Basado en la Norma de Telas Metálicas ISO 9044 Malla Cuadrada, se recomienda que la malla cumpla los siguientes parámetros:

- La luz de la malla (W_m), debe ser entre 0.020 - 0.042 mm.
- El diámetro (D_a) del alambre está entre 0.020 – 0.036 mm.

- El No. Mesh entre 635 – 325.
- La superficie útil del tamizado entre un 25 – 29%.
- El peso de la malla está entre 0.13 – 0.21 kg/m^2.

3.4. Diseño de Cilindro de Compresión de Nieve Carbónica.

El cilindro de compresión es el encargado de compactar y extruir la nieve carbónica. Es un pistón roscado al vástago del cilindro hidráulico que soporta una presión de hasta 49 MPa.en su superficie frontal. Este cilindro tiene dos canales, tal como muestra la Figura3.15, donde van colocados los sellos que se encargan de impedir el paso de nieve carbónica y de vapor de CO_2 a la parte posterior del cilindro.

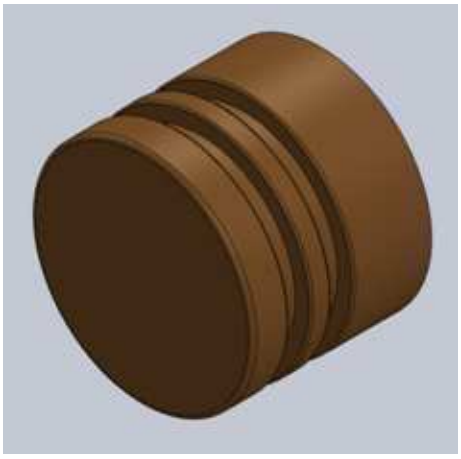


Figura 3.15CILINDRO DE COMPRESIÓN DE NIEVE CARBÓNICA.

Para el diseño del cilindro de compresión se consideraron los siguientes:

- Ser construido de un material de menor dureza que el material de la cámara de formación, de buenas propiedades mecánicas, resistente a la corrosión y fácil de maquinar.
- Debe tener sellos que eviten que por la holgura entre el cilindro y la cámara, fugue CO_2 desde la zona de compactación a la zona posterior del cilindro.
- El material estará expuesto a temperaturas bajo cero, cercanas a -78^0C.
- La sujeción entre el vástago del cilindro hidráulico y el cilindro de compactación debe ser mediante unión roscada.

Se seleccionó el material bronce al aluminio, (véase hoja técnica en Apéndice C).

Se realizó un análisis estático utilizando SOLIDWORKS®, como se muestra a continuación.

Análisis estático.

La presión de 49 MPa.actúa en la cara frontal del cilindro de compresión y la sujeción se da en la sección roscada, tal como se muestra en la Figura 3.16.

En la Figura 3.17 se muestra el conjunto mallado y en la Tabla 9 la información de la malla.

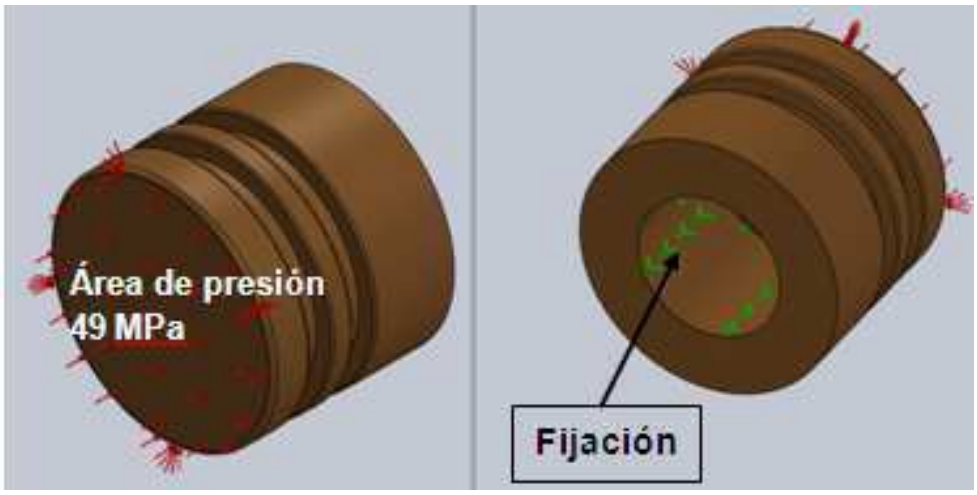


Figura. 3.16REPRESENTACIÓN DE ZONAS EN EL CILINDRO DE COMPRESIÓN.

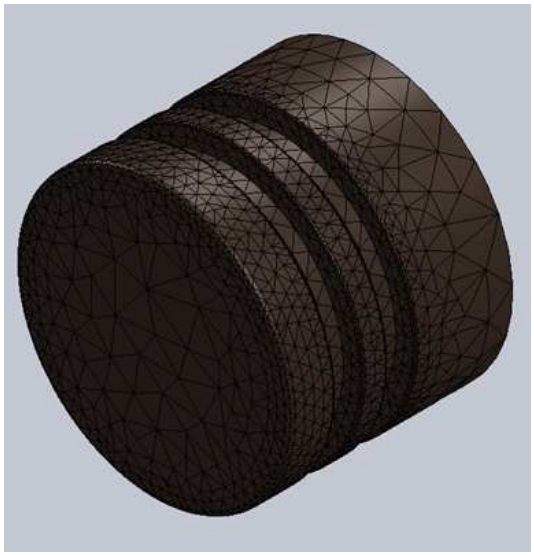


Figura3.17REPRESENTACIÓN DE CONJUNTO MALLADO DEL CILINDRO DE COMPRESIÓN DE NIEVE CARBÓNICA.

Tabla 9

INFORMACIÓN DE MALLA DEL CILINDRO DE COMPRESIÓN DE NIEVE CARBÓNICA.

Tipo de malla	Sólida
Mallador utilizado	Basado en curvatura
tamaño máximo de elemento	15,5948 mm
tamaño mínimo de elemento	3,11895 mm
Número total de nodos	28273
Número total de elementos	16218

Del análisis estático se obtuvo el esfuerzo máximo, deformación unitaria equivalente y el factor de seguridad, tal como muestran las Figuras 3.18, 3.18 y 3.20 respectivamente. La Tabla 9 muestra los resultados obtenidos.

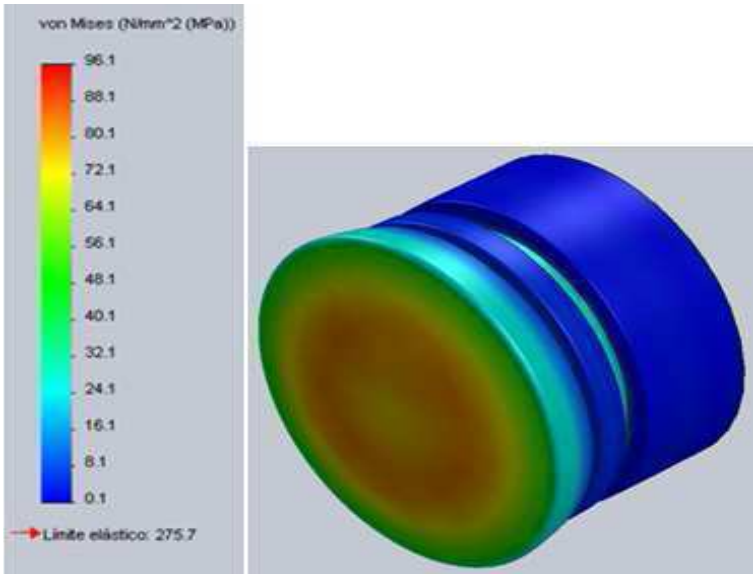


Figura 3.18REPRESENTACIÓN DEL ESFUERZO DE VON MISESEN ELCILINDRO DE COMPRESIÓN DE NIEVE CARBÓNICA, CONUNA ESCALA DE DEFORMACIÓN DE 430X.

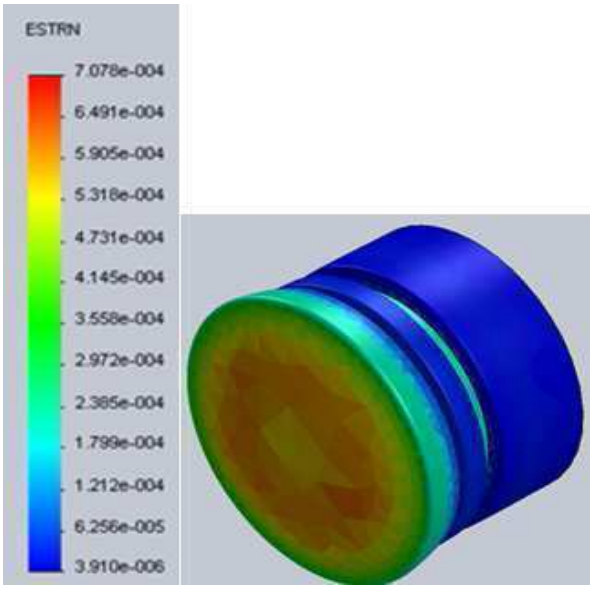


Figura 3.19REPRESENTACIÓN DE LA DEFORMACIÓN UNITARIA EQUIVALENTE DEL CILINDRO DE COMPRESIÓN DE NIEVE CARBÓNICA.

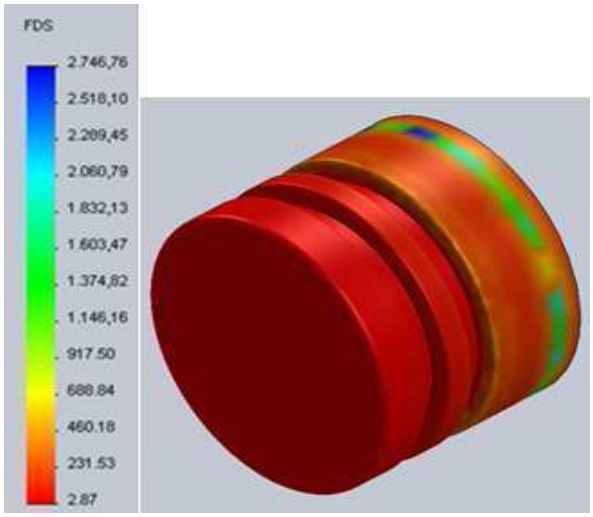


Figura 3.20DISTRIBUCIÓN DEL FACTOR DE SEGURIDAD DEL CILINDRO DE COMPRESIÓN DE NIEVE CARBÓNICA.

Tabla 10

RESULTADOS DEL ANÁLISIS ESTÁTICO DEL CILINDRO DE COMPRESIÓN DE NIEVE CARBÓNICA.

Resultados del Anàlisis Estático							
Descripción	**Unid.**	**X**	**Y**	**Z**	**Resultante**	**mín**	**máx**
Fuerzas	N	0,13	0,65	366842	366842	-----	-----
Esfuerzo	MPa	-----	-----	-----	-----	0,1	96,1
Deformación unitaria equivalente	-----	-----	-----	-----	-----	3,91x 10^{-6}	0,7x 10^{-3}
Factor de seguridad	-----	-----	-----	-----	-----	2,87	2746,76

Análisis a fatiga.

El bronce al aluminio tiene un $\boldsymbol{S_e = 180\ MPa}$ y un $S_{ut} =$ $\boldsymbol{585\ MPa}$(véase hoja técnica del material, Apéndice C4).

Del análisis estático se obtuvo que $\sigma_{máx} = 96.1\ \text{MPa}$.

Por ser una carga repetida entonces:

$$\sigma_a = \sigma_m = \frac{\sigma_{máx}}{2} = \frac{96.1\ \text{MPa}}{2} = 48.05\ \text{MPa}$$

$$\frac{\sigma_a}{S_e} + \frac{\sigma_m}{S_{ut}} = \frac{1}{n}(1)$$

$$\frac{\boldsymbol{48.05}}{\boldsymbol{180\ MPa}} + \frac{\boldsymbol{48.05}}{\boldsymbol{585\ MPa}} = \frac{\boldsymbol{1}}{\boldsymbol{n}}$$

$$\boldsymbol{n = 2.86}$$

Este es un factor de seguridad confiable, por lo tanto el cilindro de compresión de nieve carbónica no va a fallar.

El cilindro de compresión de nieve carbónica va roscado al vástago del cilindro hidráulico. Para el diámetro del agujero que es $56\ \text{mm}$, se selecciona una rosca gruesa de $5.5\ \text{mm}$ de paso, (véase, Apéndice D5 y Plano No. 7).

Sellos del cilindro de compresión de nieve carbónica.

El cilindro de compresión de nieve carbónica tiene dos sellos de labio (véase Figura 3.21).

Figura 3.21SELLOS DEL CILINDRO DE COMPRESIÓN DE NIEVE CARBÓNICA.

Del catálogo de sellos Teruel (véase Apéndice G1), se selecciona un sello Politer No. 2503500-375B de poliuretano inyectado con aro expansor para presión de trabajo de hasta 300 kgf/cm^2, para temperaturas de -50 ^{o}C – 90 ^{o}C.

3.5. Selección del Sistema Hidráulico.

El sistema hidráulico tiene la función de generar la fuerza hidráulica necesaria para realizar toda la carrera del cilindro hidráulico, y tener control sobre éste mediante las válvulas direccionales.

Parámetros.

- La fuerza necesaria para extruir el hielo seco es de por lo menos 32000 kgf, véase Apéndice A2.
- Se selecciona un cilindro hidráulico de diámetro 150 mm o 6 pulg y carrera 500 mm.
- El cilindro hidráulico debe operar a presiones de trabajo de 206.84 Bar (3000 Psi) y presiones máximas de hasta 344.74Bar (5000 Psi).
- La carrera del cilindro se realizará en un tiempo de 27 segundos.
- La electroválvula hidráulica permitirá que el cilindro pueda ser detenido a mitad de carrera y que cambie la dirección del movimiento sin ningún problema.

Cálculos.

El diámetro del cilindro hidráulico d_c = 150mm., la longitud de la carrera L_v= 500mm.y el tiempo de duración de la carreara es t_c= 27 seg.

$$S_c = \frac{\pi {d_c}^2}{4} \quad (14)$$

$$S_c = \frac{\pi(150\ \text{mm})^2}{4} = 17671.45\ \text{mm}^2$$

$$V_v = \frac{L_v}{t_c \cdot 10^3} \quad (15)$$

$$V_v = \frac{500\ \text{mm}}{(27\ \text{seg})10^3} = 0.0185\ \text{m/seg}$$

$$Q_n = S_c \cdot V_v \cdot 0.06 \quad (16)$$

$$Q_n = (17671.45\ \text{mm})(0.0185\ \text{m/seg})0.06 = 19.63\ \text{lt/min}$$

El rendimiento volumétrico $\eta_v = 0.95$, también tiene en cuenta las posibles fugas.

$$Q_R = \frac{Q_n}{\eta} \quad (17)$$

$$Q_R = \frac{19.63\ \text{lt/min}}{0.95} = 20.66\ \text{lt/min}$$

Con un motor a 1760 rpm. Se tiene que D_H = 11.81 cc/rev.

Potencia de accionamiento de la bomba.

$$\eta_t = 0.85$$

$$P_a = \frac{p_h Q_R}{600\eta_t} \quad (18)$$

$$P_a = \frac{(193.05\ \text{bar})(20.66\ \text{lt/min})}{600(0.85)} = 7.82\ \text{kw} \cong 10.5\ \text{hp}$$

Selección de partes.

- Cilindro Hidráulico de 150 mm. de diámetro y carrera de 500mm., para presión de hasta 5000 Psi. Su rugosidad superficial del interior de máximo 0.8 micrón. Tolerancia ISO H8/H9.
- Motor Trifásico de 10 HP 220 Voltios 60 Hz a 1760 rpm. Factor de servicio 1.15 o mayor.
- Bomba hidráulica de engranajes de desplazamiento 12 cc/rev. Presión máxima de 250 Bar (3500 Psig.) y presión de operación continua de 210 Bar (3000Psig.).
- El matrimonio o acople entre la bomba para motores de goma, para 10-15 hp (7.5 - 11.2 kw.), torque máximo de 30 kg.m. (217 lb/pie) y torque nominal de 16.7 kg.m. (121 lb/pie).
- Válvula hidráulica solenoide 4/3 silla invertida Cetop 03 a 110 Voltios. con máxima presión de Trabajo 315 kgf/cm^2 (4500 psi) y máximo flujo (65-120 Lt/min), con entradas de 3/8".
- Válvula hidráulica Centro Tandem Cetop 07.
- Subplaca Cetop 07

- Válvula Check de 1/2” modular Cetop 07.
- Válvula regulador de caudal Cetop 07 A-B Modular.
- Válvula de alivio de presión, con rango de ajuste de presión de 70-250 kgf/cm^2 (1000-3500 psi), máximo flujo de 100 Lt/min.
- Indicador de Nivel.
- Indicador de Temperatura
- Manómetro de 0-8000 Psi. De acero inoxidable, rosca de ½”.
- Filtro de succión de ¾” para un caudal de 50 Lt/min o mayor.
- Mangueras hidráulicas para presión de trabajo de hasta 5000 Psi.
- Acoples cónicos de bronce para sistemas hidráulicos de ¾”.
- Aceite Hidráulico AW3 ISO 68.

3.6. Selección de Tuberías y Accesorios.

- **Tubería de transporte de CO_2**

  La Tabla 11 muestra que el tamaño de tubería necesario para la aplicación es de ½”. Rosca NPT y de acero inoxidable AISI 304 o 316 Sch 40 para 300 Psi **[12]**.

Tabla 11

TAMAÑO DE TUBERÍA PARA TRANSPORTE DE CO_2 [13].

ESTIMACIÓN DE TAMAÑO DE TUBERÍA PARA TRANSPORTE DE CO2		
TAMAÑO DE TUBERÍA		FLUJO PROMEDIO
U.S.	Lbs/Min	Kg/Min
½"	12 - 100	6.8 – 45.4
¾"	101 - 200	45.8 – 90.7
1"	201 - 350	91.2 – 158.8
1 ¼"	351 - 700	159.2 – 317.5
1 ½"	701 - 1000	318 – 453.6
2"	1001 - 1600	454 – 725.8
2 ½"	1601 - 2500	726.2 - 1134
3"	2501 - 4000	1134.5 – 1814.4

- **Accesorios**

  Deberán ser Clase 300, de 1/2", rosca NPT, de acero inoxidable AISI 304 o 316 **[12]**.

- **Aislamiento térmico**

  Poliestireno extruido, clase ASTM C578.

  El espesor del aislamiento térmico de poliestireno extruido debe ser de 65 mm. (véase Apéndice G5).

- **Válvulas**

  5 válvulas de bola de 2 cuerpos, de acero inoxidable AISI 304 o 316.

  Máxima presión de trabajo 300 Psi, presión de rotura 2000 Psi.

  1 válvula de globo, para presión de trabajo de 300 Psi.

- **Válvula de alivio de presión**

  Una válvula de alivio de presión para 350 Psi.

  Dos válvulas de alivio de presión para 400 Psi.

  Material de bronce, con rosca de ½" NPT.

- **Manómetro**

  1 Manómetro con muelle tubular de acero inoxidables, con rango de presión de 0-100 Psi, con límite de sobrepresión de hasta 300 Psi.

  Temperatura de trabajo de -40 ºC, en vacio.

  Caratula de 2", con rosca de ½" NPT.

  1 Manómetro de 0-500 Psi.

- **Válvula de estrangulación**

  Válvula de estrangulación, con entrada ½" y salida rosca de ½" con orificio de 3mm (véase Plano No. 8).

- **Manguera neumática**

  Manguera plástica de 10mm. de poliuretano. Presión de trabajo de 200 Psi. Presión de rotura de 600 Psi.

- **Conectores**

  Conectores neumáticos con rosca de ½ ” NPT , con presión de trabajo de 200 Psi, para manguera plástica de 10 mm.

- **Manifold**

  2 Manifold para presión de trabajo de 300 Psi. Con 6 entradas de ½” NPT, de acero inoxidable, similar al de la Figura 3.22.

Figura 3.22MANIFOLD PARA CO_2.

- **Regulador de presión.**

  1 regulador ½” para WP 150 Psi.

  1 regulador de ½” para WP 300 Psi, para CO_2 líquido.

- **Válvula check**

  De ½”, rosca NPT, para 300 Psi.

3.7. Selección del Tanque de Almacenamiento.

El tanque debe tener una capacidad de almacenamiento de 3000 kg de CO_2 líquido. El tanque debe tener un sistema de refrigeración que le permita mantener las condiciones de presión y temperatura apropiadas.

La presión del CO_2 debe estar cercana a los 20 Bar (290 Psig.) con una variación máxima de +/- 10 Psig. (+/- 0.69 Bar). La temperatura debe estar cercana a 0 º F (-17 y -18 º C) **[14].**

El tanque será de forma vertical (véase Figuras 3.23 y 3.24).

Figura 3.23TANQUE VERTICAL DE ALMACENAMIENTO DE CO_2.

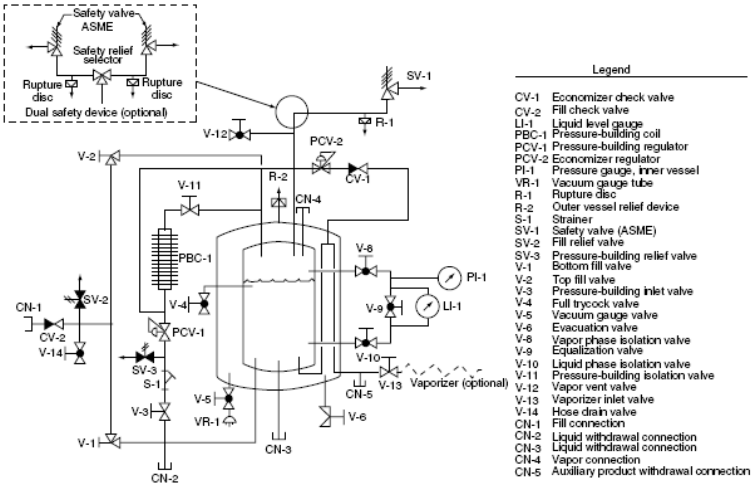


FIGURE 6.7 Flow diagram of vertical cryogenic storage vessel. (Courtesy of Taylor Wharton, 2005. With permission.)

Figura 3.24DIAGRAMA DE FLUJO DE TANQUE DE ALMACENAMIENTO CRIOGÉNICO [7].

3.8 Sistema de Control.

El sistema de control está encargado de controlar la parte eléctrica y electrónica; es quien recibe las señales y comanda el funcionamiento de los diferentes dispositivos de control del equipo.

Se divide en dos partes; una para el arranque, protección y correcto funcionamiento del motor eléctrico, y la otra para controlar las electroválvulas neumáticas, la electroválvula hidráulica y recibir señales de los detectores de proximidad y del presostato.

El sistema de control debe ser seleccionado mínimo para 5 señales de entrada y 5 señales de salida.

Arranque del motor eléctrico.

Arranque directo - DLW.

Controlador.

La marca SIEMENS tiene un gabinete con un dispositivo de control llamado LOGO! modelo 230RC (véase hoja técnica del logo Apéndice G4).

La Figura 3.25, muestra un modelo común de LOGO!. Éste es un módulo de lógica inteligente que se utiliza para la automatización de tareas. Que trabaja con señales de entrada y salida digitales.

Será quien controlará las electroválvulas neumáticas (señal digital de salida), la electroválvula hidráulica (señal digital de salida), los detectores de proximidad (señal digital de entrada), y presostato (señal digital de entrada).

Figura 3.25LOGO DE SIEMENS.

Se utiliza dos detectores de proximidad inductivos, colocados a cada extremo del cilindro hidráulico, como muestra la Figura 3.26.

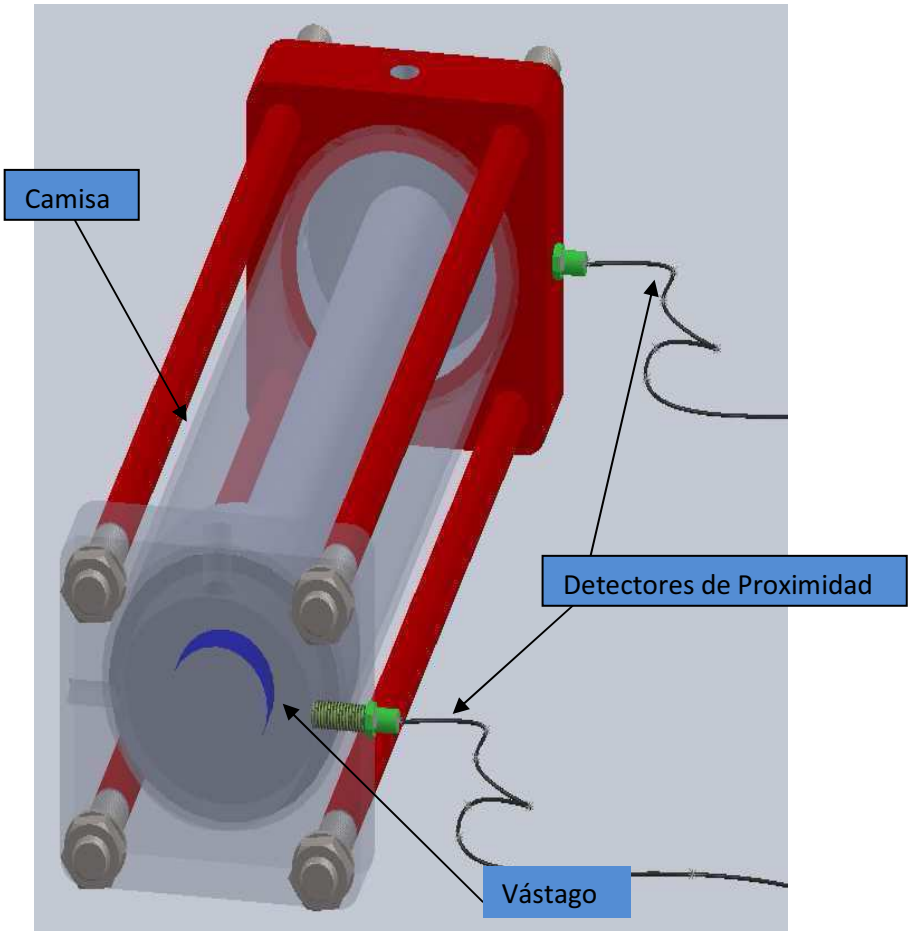


Figura 3.26REPRESENTACIÓN DE LOS DETECTORES DE PROXIMIDAD EN EL CILINDRO HIDRÁULICO.

Las tareas asignadas al LOGO! se describen en la Tabla 12. Estas tareas son programadas por el usuario.

Tabla 12

RESUMEN DE TAREAS ASIGNADAS AL LOGO!

TAREAS ASIGNADAS AL LOGO!

TAREAS	DESCRIPCIÓN	TIPO DE SEÑAL	No. DE ENTRADAS	No. DE SALIDAS
1	Se programa los mandos automático y manual.	Entrada	2	----
2	LOGO! envia señal a la electroválvula de corte que envia gas al actuador, para que este abra el paso de CO2 líquido.	Salida	----	1
3	Pasados 3 segundos LOGO! envia señal a la electroválvula inyectora que envia gas al actuador, para que este abra el paso de CO2 líquido.	Salida	----	1
4	Paso de CO2 líquido abierto durante 20 segundos y LOGO! envia señal a la electroválvula inyectora que envia gas al actuador, para que este cierre el paso de CO2 líquido.	Salida	----	mismo puerto de salida
5	Pasados los 20 segundos LOGO! recive señal del detector de proximidad 1 (vástago contraído).	Entrada	1	----

6	LOGO! envía señal a la electroválvula hidráulica, la cual ordena el inicio de la carrera del cilindro hidráulico.	Salida	----	1
7	Pasado el proceso de estrusión LOGO! recive señal del detector de proximidad 2 (vástago extendido).	Entrada	1	----
8	LOGO! envía señal a la electroválvula hidráulica para realizar el retorno del vastago del cilindro hidráulico.	Salida	----	1
9	Se repiten las tareas desde 3 hasta que se apague el equipo manualmente.	Programación interna	----	----
10	Si la presión aumenta a 30 psi LOGO! recive señal del presostato.	Entrada	1	----
11	LOGO! envia señal a la electroválvula inyectora que envia gas al actuador, para que este cierre el paso de CO2 líquido.	Salida	----	mismo puerto de salida

El panel de control tendrá las siguientes opciones.

1. Un botón de encendido del equipo.
2. Un botón de parada de emergencia.
3. Una perilla para cambiar el modo automático a modo manual el control del equipo.
4. Dos botones que accionen el avance y retorno del cilindro hidráulico.
5. Tres botones que accionen el cierre de las válvulas de CO_2.

6. Un botón que accione el ingreso de vapor de CO_2 en la cámara de formación.
7. Un LED que indique el encendido del equipo.
8. Un LED que muestre falla en el equipo.
9. Un LED que muestre sobrepresión en la cámara de formación.

Para más detalle de los componentes y funcionamiento de todo el sistema, ver el P&ID en el Plano No. 15, diagrama eléctrico en el Plano No. 16 y la descripción en detalle del funcionamiento del equipo en el Apéndice A1.

Componentes del Sistema de Control

- **Actuador neumático**

  De 16 N.m. a 8 Bar, ara válvula de ½", a 300 Psi, como se muestra en la Figura 3.27. 0.002789859 pie^3/ciclo o 79 cm^3/ciclo.

Figura 3.27VÁLVULA DE ACERO INOXIDABLE CON ACTUADOR NEUMÁTICO.

- **Electroválvulas**

  3 Electroválvulas neumáticas de 5 vías, 2 posiciones, con bobina de 110 VAC,agrupables, montado sobre Placa ISO, con conexiones de ¼" NPT.

  En la Tabla 13 se enlistan todos los componentes necesarios para el sistema de control con su respectiva cantidad.

Tabla 13

COMPONENTES DEL SISTEMA DE CONTROL.

SISTEMA DE CONTROL	
Descripción	**Cant.**
Actuador Neumático de 1/2" 8 Bar	3
Electroválvula Neumática 5/2 110 VAC	3
Placa agrupable	1
Sensores de Posición	2
Tubo Plástico de PVC de 10mm	5
Presostato para 40-100 Psi	2
Racores	20
Electroválvula Neumática 2/2 110 VAC	1
Presostato	2
Logo PLC	1
Cableado	1
Arrancador Directo Incluye Gabinete	1
Reles y Borneras	1
Gabinete	1
Conduletas	10
Botoneras	8
Plancha de Acero Inox	1

CAPÍTULO 4

4. ANÁLISIS DE COSTOS

En esta sección se hace un análisis de los costos inherentes a la fabricación del equipo, lo cual comprende materiales y la mano de obra utilizada. También se desglosa los costos de operación, incluido en un análisis, donde se detallan los recursos necesarios para desarrollar el proyecto.

En la Tabla 14 se muestra el Diagrama de Gantt de construcción, el cual sirve para estimar el tiempo de fabricación del equipo.

Tabla 14

DIAGRAMA DE GANTT DE CONSTRUCCIÓN DEL EQUIPO.

DIAS	ACTIVIDAD	SEMANA 1							SEMANA 2							SEMANA 3							SEMANA 4							SEMANA 5						
	Descripción	L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S	D
7	Adquisición y Recepción de Materiales																																			
1	Fabricación de Matriz Primaria con agujeros de 3 mm																																			
1	Fabricación de Matriz Secundaria con agujeros de 17 mm																																			
2	Fabricación de Placa Soporte																																			
3	Fabricación de Camara de Formación de 4" de diametro interior X +630 mm de largo X +12mm espesor																																			
1	Cilindro de compresión de nieve carbónica y anillos de selle																																			
1	Tensores, tuercas y arandelas																																			
3	Central Hidráulica. Incluye sistema de refrigeración por aire																																			
4	Fabricación de Estructura de Soporte																																			
2	Montaje de Conjunto de Extrusión																																			
2	Montaje Sistema Hidráulico																																			
4	Montaje de Tubería, Elementos Neumáticos y Accesorios																																			
1	Adquisición de Sistema de Control																																			
3	Montaje y Programación del Sistema de Control																																			
4	Puesta en Marcha y Calibración																																			

A continuación, se presenta en detalle el desglose de los gastos incurridos en la fabricación.

4.1 Costos de Materiales.

En la Tabla 15 se muestra en detalle el listado de los materiales que se necesitan para la construcción del conjunto de extrusión, lo cual incluye; matriz de extrusión primaria y secundaria, placa soporte, tensores, cámara de formación y cilindro de compresión de nieve carbónica.

Tabla 15

COSTOS DE MATERIALES PARA EL CONJUNTO DE EXTRUSIÓN.

CONJUNTO DE EXTRUSIÓN			
Descripción	**Cant.**	**Costo Unit. (USD)**	**Costo Total (USD)**
Torta de Acero Inox DIN 1.2316 ф 141.5 x 70 mm	8.6 kg	$15.13	$130.12
Eje de Acero Inox AISI 304 ф 24 x 3500 mm	12.35 kg	$6.56	$81.01
Torta de Acero Inox AISI 4340 ф 360 x 90 mm	71.45 kg	$6.80	$485.89
Torta de Acero Inox DIN 1.2316 ф 131.5 x 640 mm	67.8 kg	$15.13	$1,125.81
Torta de Bronce al Aluminio ф 110 x 140 mm	10.3 kg	$27.68	$287.25
Tuercas hexagonales M24 x 3	16	$7.14	$114.24
Tratamiento Termicos	60	$8.50	$510.00
		Subtotal	$2,734.32
		IVA 12 %	$328.12
		TOTAL	$3,062.44

Cabe resaltar que los materiales seleccionados, las formas y el proceso de fabricación, corresponden a los disponibles localmente, pensando en la producción de un solo equipo. Para producción en

serie, el proceso de fabricación cambia, lo cual representaría significativos ahorros.

En la Tabla 16 se muestra el costo de los elementos del sistema hidráulico.

Tabla 16

COSTO DE COMPONENTES DEL SISTEMA HIDRÁULICO.

SISTEMA HIDRAULICO			
Descripción	**Cant.**	**Costo Unit. (USD)**	**Costo Total (USD)**
Cilindro Hidráulico ф 150 x 500 mm (3000 Psi)	1	$2,254.34	$2,254.34
Bomba Hidráulica de engranajes 12 cc/rev WP3000 Psi MP 3500Psi	1	$371.20	$371.20
Acople Motor - Bomba Hidráulica	1	$90.33	$90.33
Motor Trifásico 10 HP 220V/3PH/60Hz 1770 RPM	1	$480.00	$480.00
Válvula Hidráulica 4/3 Centro Tandem Cetop 07	1	$459.69	$459.69
Válvula Hidráulica Solenoide 4/3 Silla Invertida 110 VAC`Cetop 03	1	$229.40	$229.40
Válvula regulador de caudal Cetop 07 A-B Modular	1	$172.00	$172.00
Subplaca Cetop 07	1	$171.88	$171.88
Válvula Check 1/2" Modular Cetop 07	1	$155.00	$155.00
Válvula de Alivio de presión (1000-3500 Psi) (20-100lts/min)	1	$161.50	$161.50
Indicador de Nivel	1	$27.50	$27.50
Manómetro 0 - 5000 Psi	2	$28.40	$56.80
Sensor de Presión	1	$20.00	$20.00
Sensor de temperatura	1	$20.00	$20.00
Sensor de Nivel	1	$35.00	$35.00
Tanque de 20 Glns	1	$320.00	$320.00
Filtro de Succión	1	$46.00	$46.00
Mangueras Hidráulicas 5000 Psi	5	$31.15	$155.75
Accesorios y acoples cónicos	10	$8.87	$88.70
Aceite Hidráulico	20	$32.50	$650.00
Sistema de refrigeración de aceite hidráulico por aire	1	$1,200.00	$1,200.00
		Subtotal	$7,165.09
		IVA 12 %	$859.81
		TOTAL	$8,024.90

En la Tabla 17,se muestran los costos de tuberías y accesorios.

Tabla 17

COSTO DE TUBERÍAS Y ACCESORIOS PARA LA RED DE CO_2.

TUBERIAS Y ACCESORIOS			
Descripción	**Cant.**	**Costo Unit. (USD)**	**Costo Total (USD)**
Tubería 1/2" Sch 40 Acero Inox 304 WP 300 Psi - MP 1000Psi 6m	1	$48.10	$48.10
Manifold Acero Inoxidable WP 300 Psi 6 Tomas de 1/2" Presion de Rotura ≥ 1500 Psi	2	$250.00	$500.00
Union en T Hembra de 1/2" WP300 Psi	3	$12.00	$36.00
Union en L hembra de 1/2" WP300 Psi	3	$12.00	$36.00
Válvula Ac. Inox. 304 de cierre rápido 2 cuerpos 1/2" WP300 Psi	5	$40.00	$200.00
Válvula Ac. Inox. 304 de globo WP300 Psi	1	$41.65	$41.65
Válvula de estrangulación 1/2" In X 1/2 " Out con orificio de 3mm	1	$45.00	$45.00
Manómetro Acero Inox. 0 - 500 Psi	2	$21.95	$43.90
Manómetro Acero Inox. 0 - 100 Psi	1	$22.00	$22.00
Válvula de Seguridad de 1/2" Bronce 400 Psi	2	$200.00	$400.00
Válvula de Seguridad de 1/2" Bronce 350 Psi	1	$200.00	$200.00
Válvula Check 1/2"	1	$30.00	$30.00
Cinta de Teflón	3	$1.00	$3.00
Accesorios Inoxidable 1/2 " Clase 300	12	$10.00	$120.00
Aislamiento Térmico 5" (m)	1	$38.00	$38.00
Aislamiento Térmico 1/2" (m)	3	$9.60	$28.80
Regulador de Presión 1/2" 120 Psi Max	1	$98.60	$98.60
Regulador de Presión 1/2" 320 Psi Max Liquido CO2	1	$216.45	$216.45
Racores Inoxidables rectos 10mm x 1/2"	20	$2.06	$41.20
Cinta de Teflon	5	$0.50	$2.50
Tubo Plástico de PVC de 10mm	5	$2.72	$13.60
		Subtotal	$2,164.80
		IVA 12 %	$259.78
		TOTAL	$2,424.58

En la Tabla 18, se muestran los costos del sistema de control.

Tabla 18

COSTO DE ELEMENTOS DEL SISTEMA DE CONTROL.

SISTEMA DE CONTROL			
Descripción	**Cant.**	**Costo Unit. (USD)**	**Costo Total (USD)**
Actuador Neumático de 1/2" 8 Bar	3	$250.00	$750.00
Electroválvula Neumática 5/2 110 VAC	3	$123.00	$369.00
Electroválvula 2/2 1/4 N/C	1	$135.95	$135.95
Placa agrupable con entrada de 1/2"	1	$85.00	$85.00
Detectores de proximidad o sensores de posición	2	$48.00	$96.00
Presostato para 40-100 Psi	1	$155.44	$155.44
Electroválvula Neumática 2/2 110 VAC	1	$230.00	$230.00
Logo PLC	1	$750.00	$750.00
Cableado	1	$80.00	$80.00
Arrancador Directo Incluye Gabinete	1	$65.00	$65.00
Reles y Borneras	1	$75.00	$75.00
Gabinete	1	$70.00	$70.00
Conduletas	10	$5.00	$50.00
Botoneras	8	$7.50	$60.00
Plancha de Acero Inox	1	$45.00	$45.00
		Subtotal	$3,016.39
		IVA 12 %	$361.97
		TOTAL	$3,378.36

4.2 Costode Manode Obra.

Para la fabricación de las piezas, se incluye en un listado de gastos por servicios como los de mecanización, programación, soldadura, entre otros. En todos los procesos, se considera el costo hora hombre, el uso de los equipos y adicionales necesarios para la ejecución del trabajo.

En la Tabla 19 se muestra las horas-hombre aproximadas que se utilizarían para la fabricación de las piezas, el montaje y la puesta en marcha del equipo.

Tabla 19

COSTOS POR SERVICIOS PARA LA FABRICACIÓN DEL EQUIPO.

SERVICIOS **Descripcion**	**Horas Hombre Invertidas**	**Costo Unit. (USD/hora-H)**	**Costo Total (USD)**
Torno	28	$12.00	$336.00
Fresa	28	$12.00	$336.00
Soldadura	8	$20.00	$160.00
Pintura	8	$15.00	$120.00
Central Hidráulica	16	$8.00	$128.00
Neumática	16	$8.00	$128.00
Tuberías y accesorios	8	$8.00	$64.00
Sistema de Control y Programación PLC	20	$20.00	$400.00
Dirección y Ejecución	400	$5.00	$2,000.00
Puesta en Marcha y Calibración	20	$25.00	$500.00
Diseño			$4,000.00
		TOTAL	$8,172.00

En la Tabla 20 están los costos de todo los componentes principales del equipo pelletizador, incluida la mano de obra.

Tabla 20

COSTOS TOTALES DEL EQUIPO PELLETIZADOR.

COSTO TOTAL DEL EQUIPO	CANTIDAD	COSTO (USD)
CONJUNTO DE EXTRUSIÓN	1	$2,734.32
SISTEMA HIDRAULICO	1	$7,165.09
TUBERIAS Y ACCESORIOS	1	$2,048.00
SISTEMA DE CONTROL	1	$3,016.39
ESTRUCTURA DE SOPORTE	1	$300.00
MANO DE OBRA	1	$8,172.00
	SUBTOTAL	$23,435.80
	IVA 12 %	$2,812.30
	TOTAL	$26,248.10

En la Figura 4.1 se puede observar que el mayor porcentaje de los costos, lo tiene la mano de obra siendo esta del 35 %, seguido del sistema hidráulico con un 30% .

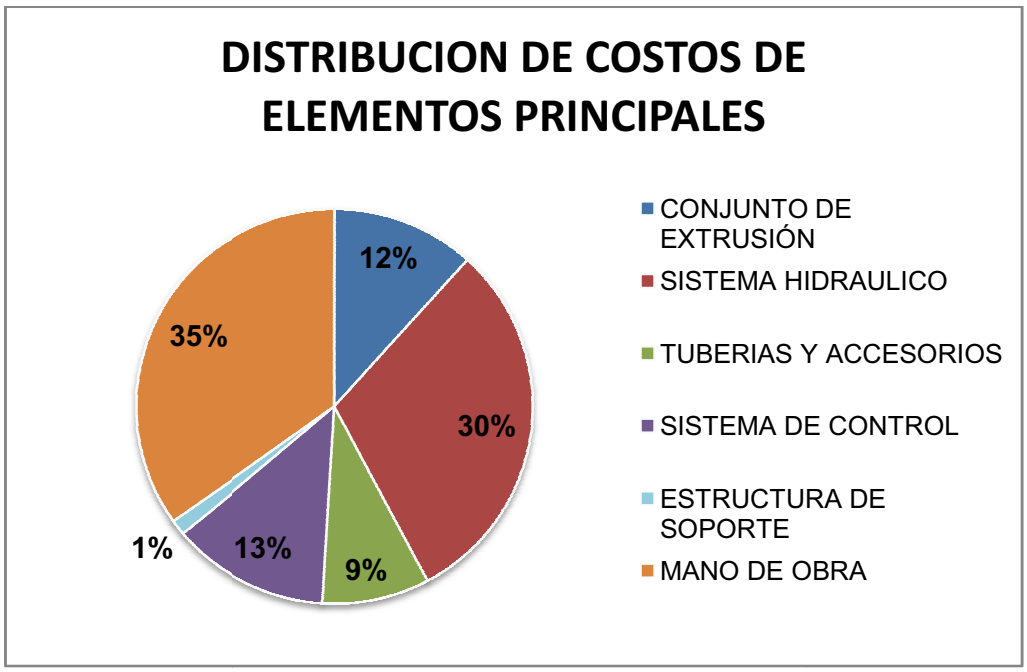


Figura 4.1DISTRIBUCIÓN DE COSTOS DEL EQUIPO.

4.3 Otros Costos.

El sistema de almacenamiento de CO2 líquido no tiene costo de inversión inicial, debido a que la empresa proveedora local facilita un tanque de 3000 kg, previo a un acuerdo mutuo de consumo mínimo mensual de 2000 kg de CO_2 líquido.

En esta sección, también se realizará un análisis con respecto al alcance global del proyecto, donde se incluye todos los costos y la logística que implica el poner en ejecución el proyecto del pelletizador de hielo seco.

En la Tabla 21 se detallan los costos necesarios para poner en marcha el proyecto del pelletizador de hielo seco. Se incluyen elementos desde una computadora con escritorio, vehículo para transporte, incluso el costo estimado de un sistema de recuperación de fabricación local, el cual es muy necesario para hacer más eficiente el proceso de formación del hielo seco.

La inversión por la camioneta para transporte, el alquiler del terreno y el costo de la mano de obra de los empleados, fueron divididos a la mitad para poder transferir esos costos a cada kg. de pellets, ya que al tratarse de un proyecto complementario del servicio de ICEBLASTING y a que estos recursos van a ser de uso compartido, la inversión debe ser de igual forma.

Tabla 21

Costo inicial de inversión del proyecto.

COSTO DE CAPITAL			
DESCRIPCION	**CANT**	**COSTO UNIT (USD)**	**COSTO TOTAL (USD)**
Equipo pelletizador de hielo seco	1	$26,248.10	$26,248.10
Sistema de recuperación de CO2	1	$30,000.00	$30,000.00
Instalaciones y adecuaciones	1	$800.00	$800.00
Cajas de almacenamiento de pellets 300 kg	5	$240.00	$1,200.00
Escritorio y Computador	1	$1,000.00	$1,000.00
Ventilador Industrial	1	$400.00	$400.00
Caminoneta cabina simple de segunda mano /2	1	$6,000.00	$6,000.00
Elevador hidráulico 1000 kg 2m	1	$1,000.00	$1,000.00
Caja de herramientas varias	1	$1,000.00	$1,000.00
Gastos de documentación y legalización	1	$800.00	$800.00
		TOTAL	$68,448.10

En la Tabla 22 se detallan los gastos fijos anuales.

Tabla 22

GASTOS FIJOS ANUALES.

GASTOS FIJOS ANUALES	COSTO (USD)
Depreciación (10%)	$6,844.81
Interés (10%)	$6,844.81
Seguro e Impuestos (4%)	$2,737.92
Alquiler terreno 200 m2 /2	$1,800.00
Utilidad (0%)	$0.00
Mantenimiento (5%)	$3,422.41
TOTAL	$21,649.95

A continuación, en la Tabla 23 se detallarán los costos de operación, tomando una producción anual de 50.000 kg. para el primer año. El consumo de potencia, se establece en base al consumo promedio del equipo durante todo el ciclo de operación.

Además, en la Tabla 24 se cuantifica el costo de un kg. de hielo seco pelletizado, para una producción de 50.000 kg. al año.

En la Tabla 25 se comparan los costos de operación y precios de venta del kg. de pellets de hielo seco desde el primero hasta el tercer año, tomando un crecimiento de producción anual de 50.000 kg por año.

Tabla 23

COSTO DE OPERACIÓN PARA UNA PRODUCCIÓN DE 50.000 KG/AÑO.

COSTOS OPERATIVOS 1ER. AÑO	COSTO (USD)
Suponiendo 2 horas/dia, en un año (250 dias laborables) son 500 horas de producción	
50.000 kg/año de producción de pellets de hielo seco	
Servicios básicos (agua, teléfono)	$480.00
Energia electrica, consumo promedio 50 KW, es decir anualmente significarian 25.000 KW.hr ($0.08 KW.hr)	$2,000.00
Combustible, papelería y varios	$800.00
Mano de obra (Incluye Seguro IESS, alimentación y Beneficios de Ley)	
Operador Equipo ($ 450 mes)/2	$3,371.05
Supervisor/Vendedor ($ 500 mes)/2	$3,894.50
TOTAL	$10,545.55

Tabla 24

COSTO DE PRODUCCIÓN DE UN KG DE HIELO SECO PELLETIZADO PARA UNA PRODUCCIÓN DE 50.000 KG/AÑO.

1ER. AÑO	COSTOS PARA PRODUCIR UN KG DE PELLETS DE HIELO SECO		
En base a una producción proyectada de 50.000 kg el primer año	CANT	COSTO UNIT (USD)	COSTO TOTAL (USD)
Gastos Fijos anuales	1	$0.43	$0.43
Costos Operativos anuales	1	$0.21	$0.21
Materia Prima CO2 Liquido (kg)	1.176	$0.45	$0.53
COSTO KG DE PELLETS		**SUBTOTAL**	$1.17

Tabla 25

COMPARACIÓN DE COSTOS Y PRECIO DE UN KG EN BASE A LA PRODUCCIÓN ANUAL.

	1er. Año	2do. Año	3er. Año
Producción anual (Kg)	50.000	100.000	150.000
Gastos Fijos anuales	$ 21,649.95	$21,649.95	21649.95
Costos Operativos anuales	$10,545.55	$12,545.55	$14,545.55
CO2 Líquido	$0.53	$0.53	$0.53
Precio Kg de pellets (No incluye IVA)	$1.17	$0.85	$0.77

Los costos de operación no varían significativamente en los tres primeros años.

El costo de producción de un kg. de hielo seco en el segundo año disminuye 27.3 % en relación al primer año y en el tercer año disminuye un 34.2 % en relación al primer año.

Con una tasa de producción mayor a los 100.000 kg/año, se tendría un costo competitivo por kg, lo cual permitiría variar los márgenes de utilidad en beneficio de hacer más económico el servicio del ICEBLASTING, y conseguir nuevos clientes.

En las Tabla 26 se muestra que el costo actual para producir un kg de pellets de hielo seco es de $ 1,29 con un equipo que tiene una eficiencia del 72.3 %, que comparado con la alternativa propuesta de un equipo diseñado y construido localmente que incluye sistema de recuperación, el valor del kg. de pellets es de $1,14, lo que significa un ahorro significativo de $ 0,15 dólares por kg.

Los datos de las Tablas 26, 27 y 28 muestran en detalle el costo por kg. de pellets para las diferentes situaciones, los cuales son muy necesarios para justificar el proyecto.

Con el proceso de producción actual se tiene un costo por kg. de pellets de hielo seco de $ 1.29 dólares, mientras que con el equipo

propuesto en esta tesis incluyendo un sistema de recuperación, se tendría un costo por kg. de $ 1.17 dólares, lo cual significa una reducción de $ 0.12 dólares.

En caso de no adicionar un sistema de recuperación de CO_2, el costo por kg. de pellet se incrementaría a $ 1.67 dólares, lo que elevaría en un 43% el costo del hielo seco.

Tabla 26

TABLA DE COSTOS PARA PRODUCIR UN KG DE PELLETS DE HIELO SECO ACTUALMENTE.

Equipo Actual

Producción Pellets de Hielo Seco usando bloques	50.000 kg/año
Costo kg hielo seco (bloque)	$0.672
Eficiencia del proceso	72.3%
Otros	$0.00
Gastos Fijos anuales	$0.19
Costos Operativos anuales	$0.17
Costo Final kg pellets	**$1.29**

Tabla 27

COSTOS PARA PRODUCIR UN KG DE PELLETS DE HIELO SECO CON EQUIPOS DISEÑADOS LOCALMENTE (INCLUYE SISTEMA DE RECUPERACIÓN) PARA UNA PRODUCCIÓN DE 50.000 KG/AÑO.

Equipos Diseñados y Construidos Localmente

Producción Pellets de Hielo Seco (con Sistema de Recuperación de CO2)	50.000 kg/año
Costo kg CO2 líquido	$0.448
Eficiencia del proceso	85%
Otros	$0.00
Gastos Fijos anuales	$0.43
Costos Operativos anuales	$0.21
Costo Final kg pellets	**$1.17**

Tabla 28

COSTOS PARA PRODUCIR UN KG DE PELLETS DE HIELO SECO CON EQUIPO DISEÑADO LOCALMENTE (NO INCLUYE SISTEMA DE RECUPERACIÓN) PARA UNA PRODUCCIÓN DE 50.000 KG/AÑO.

Equipo Diseñado y Construido Localmente

Producción Pellets de Hielo Seco usando CO2 líquido (sin Sistema de Recuperción de CO2)	50.000 kg/año
Costo kg CO2 líquido	$0.448
Eficiencia del proceso	36.00%
Otros	$0.00
Gastos Fijos anuales	$0.26
Costos Operativos anuales	$0.17
Costo Final kg pellets	**$1.67**

CAPÍTULO 5

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Conclusiones

- El realizar el diseño y construcción del equipo, con mano de obra calificada y no calificada, genera fuentes de trabajo, se evita fuga de divisas y es más económica, debido a que representa el 65% del costo de un equipo importado de similares características.

- El equipo tiene una capacidad de producción de 110 Kg/hora. Es de fácil mantenimiento y la reposición de las partes es sencilla. Todas las piezas, elementos y repuestos del equipo se disponen localmente.

- La inversión inicial de capital para construir el equipo pelletizador y toda la infraestructura que ésta implica, es alta, pero el mercado disponible para el desarrollo de la tecnología del ICEBLASTING es

amplio y no existe mayor competencia. Éste tiene una infinidad de aplicaciones en la industria nacional con ventajas cuantificables, ya que significa una opción ecológica a los métodos tradicionales y un oportunidad para que las industrias locales incrementen la productividad de sus plantas, al reducir significativamente el tiempo de inactividad debido a las limpiezas de equipos y elementos. El costo del servicio se puede llegar a pagar solo. Un buen plan de mercadeo y promoción es importante inicialmente.

Recomendaciones.

- Es necesario que junto al equipo pelletizador se incorpore un sistema de recuperación de CO_2(véase Apéndice G2), para que así la eficiencia de transformación del CO_2 líquido enpellets sea del 85%, y no del 36% que sería el caso sin el sistema de recuperación, lo cual elevaría considerablemente el costo de producción del hielo seco.
- Con una bomba de dos piñones, de engranajes dobles, con capacidad total de 22 cc/rev, dividida en 2 bombas de engranajes duales de 11 cc/rev cada una, se podría incrementar hasta en un 30% la capacidad de producción del equipo.

- El hielo seco se sublima a una tasa de un 3% a 8% diario, por lo cual el aislamiento de las cajas térmicas de almacenamiento es muy importante.
- Otra opción con la que se dispone con este equipo, es la de fabricar nuggets de hielo seco, los cuales se utilizan para conservación de alimentos, transporte de medicinas, entre otros. Esto como una opción adicional para abarcar otro mercado con el mismo equipo.
- Es importante tener muy en cuenta las recomendaciones de seguridad en el manejo del CO_2. El contacto directo con el hielo seco o el CO_2 líquido podrían ocasionar quemaduras graves. El límite de exposición para los seres humanos es de 5.000 PPM, por eso es necesaria una buena ventilación en las instalaciones de los equipos. Para mayor información de seguridad véase el Apéndice F1 y F2.

APÉNDICE A

EXTRUSIÓN DEL HIELO SECO

APÉNDICE A1

Descripción P&ID del equipo pelletizador de hielo seco

La válvula de bola (2) y (9) permiten el paso de vapor de CO_2 para poder presurizar el circuito neumático.

El CO_2 líquido entra al circuito del equipo una vez que se abra la válvula de bola manual (3) que se encuentra a la salida del tanque de almacenamiento de CO_2 líquido (1) de 3000 kg de capacidad.

En el manifold de 6 tomas (4) para vapor de CO_2, se encuentra una válvula de alivio de presión (6), un manómetro (7) y una válvula reguladora de presión (8) que disminuye la presión de 20 Bar a 8 Bar, luego le sigue la válvula de bola (9), que es permite el paso de vapor de CO_2 a la placa agrupable (12) donde se encuentran las electroválvulas neumáticas (13), (14) y (15) de 5 vías 2 posiciones. Una válvula de bola (11) con actuador neumático controlada por la electroválvula neumática 5/2 (13), es quien permite el paso de vapor de CO_2 a alta presión hasta el manifold (18).

Una válvula de alivio de presión (16) se encuentra entre el tanque (1) y la válvula de corte de líquido (17). Luego de la válvula de corte con actuador neumático (17) controlada por la electroválvula neumática 5/2(14), sigue un manifold de 6 tomas (18), donde se ubica otra válvula de alivio de presión (20) y una válvula reguladora de presión (22) a la salida de la línea, la cual

sigue hasta una válvula de globo (23), que es quien regula el caudal de líquido de CO_2 y evita que la presión en la cámara de formación (29) se incremente. Luego le sigue una válvula con actuador neumático (24) controlado por una electroválvula 5/2 (15) que es quien abre el paso del CO_2 líquido a la cámara de formación (28) y sea estrangulado por la válvula (25), para que se forme la nieve carbónica en la cámara de formación y el vapor de CO_2 desfogue por las ventajas con filtro de malla (29). En la cámara se encuentra un presostato (26) y un manómetro (27).

Los manómetros están ubicados en todos los puntos importantes del circuito, de tal forma que puedan ser visibles por el operador, y éste a su vez pueda tomar acción en caso de ser pertinente. En cada manifolds del sistema se ubicaran 1 válvula de bola manual de cierre rápido (5) y (21), las cuales permitirán despresurizar el sistema manualmente en caso de ser necesario.

Funcionamiento integral del Equipo Pelletizador de hielo seco.

El sistema de suministro de CO_2 incluye una fuente de CO_2 líquido en un tanque (1) con condiciones a 20 Bar (290 Psig) y – 18 ºC. Del mismo modo, hay provista una fuente de vapor de CO_2 proveniente del mismo tanque.

Una vez encendido el equipo, se abren las válvulas (2) y (3). El vapor de CO_2 alimenta las electroválvulas neumáticas. La válvula (11) y (24) se abren para permitir el paso de vapor de CO_2 hasta la cámara de formación por dos minutos, únicamente cuando se arranca el equipo luego de haber estado parado; esto sirve para hacer un barrido en la línea y a la vez para pre-enfriar el circuito. Una vez terminado este ciclo se cierra la válvula (11).

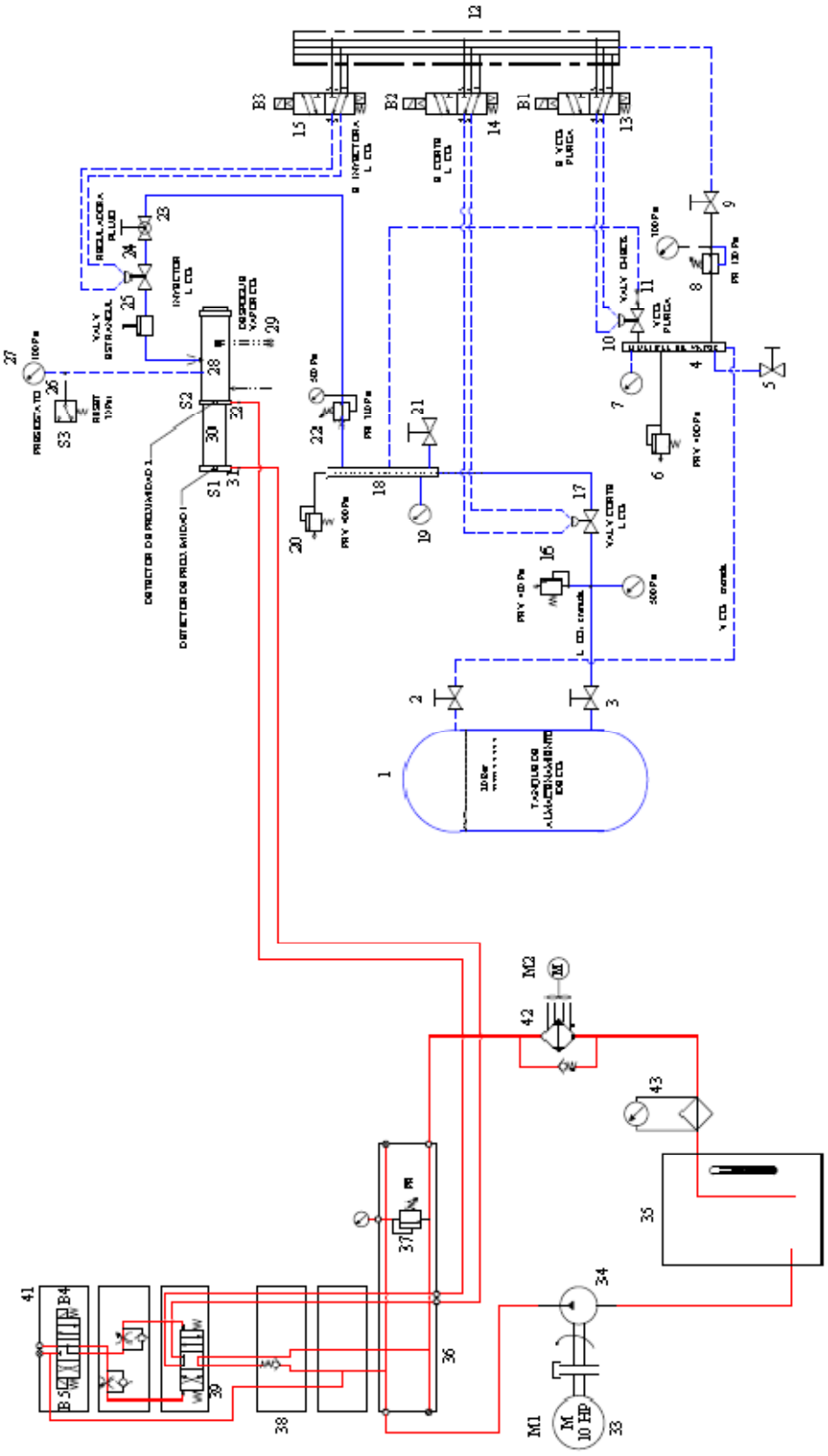
La válvula (23) debe estar casi totalmente abierta. Luego se abre la válvula (17) para permitir el paso de CO_2 líquido al circuito. El sistema de control debe recibir la señal del detector de proximidad (31) de que el cilindro hidráulico (30) está en su posición inicial, caso contrario debe accionar la electroválvula hidráulica (41)para que el cilindro regrese a su posición de inicio de carrera. Una vez recibida la confirmación, la válvula (24) se abre por un tiempo de 20 segundos para permitir el paso del CO_2 líquido para que sea estrangulado por la válvula (25) y la nieve carbónica resultante ingrese a la cámara de formación (28). Durante el ciclo, la presión en la cámara no debe ser mayor a 30 Psig, en caso de ser mayor, disminuir el paso de CO_2 mediante la válvula (23). Esta calibración se debe dar por única vez cuando

se de el primer arranque del equipo. En caso incremento de la presión en la cámara, el presostato enviará una señal que mandará a cerrar la válvula (24) y (17), para que un operador pueda corregir la falla. En caso de cerrarse todas las válvulas de bola, las válvulas de alivio (16), (20), y (6), se encargarían de evitar que la presión se incremente. Igualmente una válvula de bola manual ubicada en los manifold (4) y (18) se emplea para poder despresurizar el sistema.

Una vez concluido el ciclo de 20 segundos de inyección de CO_2 líquido en la cámara de formación (28), la electroválvula hidráulica (41) direccionará para que el cilindro hidráulico (30) inicie su carrera hasta que el detector de proximidad de final de carrera (32) envié la señal, y la electroválvula hidráulica haga retornar al cilindro hidráulico a su posición inicial. En caso de incremento excesivo de presión, un presostato enviará una señal para cortar el paso de aceite al cilindro hidráulico. En el panel de control estará un modo de control manual del cilindro hidráulico para avance y retroceso de carrera en caso de requerirlo el operador.

Una vez que el sistema de control detecte que el cilindro hidráulico está en su posición de inicio de carrera, abrirá las válvula (24) durante 20 segundos hasta completar el ciclo. Véase Fig. A1.

Fig. A1: Diagrama de Tubería e instrumentación enumerado.



APÉNDICE A2

Pruebas de extrusión de hielo seco en matriz, mediante cilindro hidráulico

Para extruir CO_2 sólido, se utilizan dos moldes extrusores ubicados uno sobre el otro. El primero que está en contacto con el CO_2 es de espesor delgado, es quien extruye el hielo seco a diámetros de 3mm. El segundo molde es de pared gruesa, es quien soporta la carga que ejerce el pistón de compresión y sirve de guía para los pellets. Para ejercer la fuerza para la extrusión, se utiliza un cilindro hidráulico.

Los siguientes datos y descripciones experimentales, fueron tomados en base a un equipo extrusor de hielo seco, diseñado y construido localmente.

El equipo tiene una capacidad cercana a los 80 kg/hr de CO_2 pelletizado, su molde extrusor tiene (11 X 10) cm^2 de área. Los agujeros del molde extrusor primario son de 3 mm, de los cuales tiene 390 en toda su área uniformemente repartidos. El molde secundario tiene 30 agujeros de 16 mm uniformemente repartidos en toda su área.

Se han realizado ensayos con este equipo, donde se han usado los dos moldes extrusores en conjunto, y usando únicamente el molde secundario que tiene 30 orificios de 16mm uniformemente distribuidos. Para dichas pruebas se tomaron los datos siguientes.

El equipo opera con un cilindro hidráulico de 6 pulgadas de diámetro y 300mm de carrera.

Motor marca Weg de 3 HP a 1740rpm 220V/ 60Hz/ 2F 19.20 Amp, Fs. 1.25.

Bomba Hidráulica de engranaje marca Kompass modelo P105, de caudal

5.1 ml/rev o 9 Lt/min con presión de trabajo de 3000 Psi y presión máxima de descarga de 3500 Psi.

Los datos de la Tabla 1 y 2, muestran los resultados de las pruebas realizadas.

Las pruebas fueron realizadas en la ciudad de Quito, con temperatura ambiente de 16 ^{o}C.

En la Tabla 2, el ciclo de extrusión o carrera del cilindro hidráulico dura 22 segundos, de los cuales 16 segundos el equipo trabaja con corriente mínima, y durante 6 segundos el equipo empieza a incrementar la corriente hasta llegar al valor máximo.

En la Tabla 2 al referirse las cantidades de masa en bloques de hielo seco, se refiere a un lote de prueba, no a la cantidad de hielo seco que se ingresa por ciclo en la cámara. Aproximadamente por cada ciclo se introdujeron 1.1 kg de hielo seco sólido, donde varío la corriente en base a la cantidad de hielo seco que se ingresó a la cámara. De los ensayos realizados se obtuvo

una corriente máxima de 18 Amp y una presión máxima de 3500 Psi, cuando se introdujeron 1.350 kg en la cámara de formación para un ciclo.

Fig. 1: Equipo extrusor de hielo seco utilizado para la toma de datos.

A_{tmolde}= Área total de molde, a_1= Área perforada (390 huecos de 3mm) de molde primario, a_2= Área perforada (30 huecos de 16 mm) de molde secundario, R_1= Relación de áreas de A/a_1, R_2= Relación de áreas de A/a_2, RP_1= rango de presión hidráulica en el cilindro hidráulico operando con molde primario y secundario en conjunto y RP_2= rango de presión

hidráulica en el cilindro hidráulico operando con el molde secundario únicamente.

$$A = (11*10)\,cm^2 = 110\,cm^2$$

$$a_1 = \frac{\pi d_o^{\,2}}{4} * 390 = \frac{\pi (0.3)^2}{4} * 390 = 0.07065 * 390 = 27.55\,cm^2$$

$$a_2 = \frac{\pi d_o^{\,2}}{4} * 30 = \frac{\pi (1.6)^2}{4} * 30 = 2.01 * 30 = 60.318\,cm^2$$

$$R_1 = \frac{110}{27.55} = 3.9927 \cong 4$$

$$R_2 = \frac{110}{60.318} = 1.8236 \cong 1.8$$

En el primer caso, el RP_1= (2500 – 3500) psig = (170 – 240) kg/cm^2

Para un cilindro hidráulico de 6 pulgadas (15.24 cm) de diámetro el área transversal es de 182.32 cm^2.

$A_{H6"}$= Área del cilindro hidráulico de 6 pulgadas

$$A_{H6"} = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{\pi (15.24)^2}{4} = 182.32\,cm^2$$

Con 3500 psig = 240 kgf/cm^2 como presión de operación del equipo, da una fuerza ejercida por el vástago de 43756 kgf.

$$F_{H6"} = P_1 x A_{H6"} = (240\,{}^{kgf}\!/_{cm^2})\, x(182.32 cm^2) = 43756 kgf$$

Esta fuerza transferida al molde, resulta en una presión de 397.78 kg/cm^2 que soporta el molde extrusor.

$$P_{placaCaso1} = \frac{F_{H6"}}{A} = \frac{43756}{110} = 397.78 kgf / cm^2$$

En el segundo caso, el RP_2= (700 – 1200) psig = (48 – 83) kg/cm^2

Por lo tanto con un cilindro hidráulico de 6 pulgadas (15.24 cm) de diámetro el área transversal es de 182.32 cm^2.

$A_{H6"}$= Área del cilindro hidráulico de 6 pulgadas

$$A_{H6"} = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{\pi (15.24)^2}{4} = 182.32 cm^2$$

Con 1200 psig = 83 kg/cm^2 como presión de operación, da una fuerza ejercida por el vástago de 15132 kgf.

$$F_{H6"} = P_2 x A_{H6"} = (83\,{}^{kgf}\!/_{cm^2})\, x(182.32 cm^2) = 15132 kgf$$

Esta fuerza transferida al molde, resulta en una presión de 137.56 kg/cm$^-$ que soporta el molde extrusor.

$$P_{placaCaso2} = \frac{F_{H6"}}{A} = \frac{15132}{110} = 137.56 kg/cm^2$$

El molde extrusor que vamos a diseñar es de forma circular de 4 pulgadas de diámetro o 10.16 cm de diámetro.

El área total del molde extrusor es de 81.032 cm^2.

$A_{molExtr}$= Área total de molde extrusor

$$A_{molExtr} = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{\pi (10.16)^2}{4} = 81.032 cm^2$$

En base a un diseño de forma aproximado para un molde extrusor el área perforada total por los agujeros de 3 mm es de 17.45 cm^2.

a_3= Área perforada (247 huecos de 3 mm) de molde primario.

$$a_3 = \frac{\pi d_o^{\ 2}}{4} x247 = \frac{\pi (0.3)^2}{4} x247 = 17.4505 cm^2$$

R_3= Relación de áreas de $A_{molExtr}/a_3$

$$R_3 = \frac{81.032}{17.45} = 4.64 \cong 4.7$$

Con los datos obtenidos realizamos una tabla en la que relacionamos la presión que se ejerce sobre el molde extrusor con la relación de área (área total sobre área perforada).

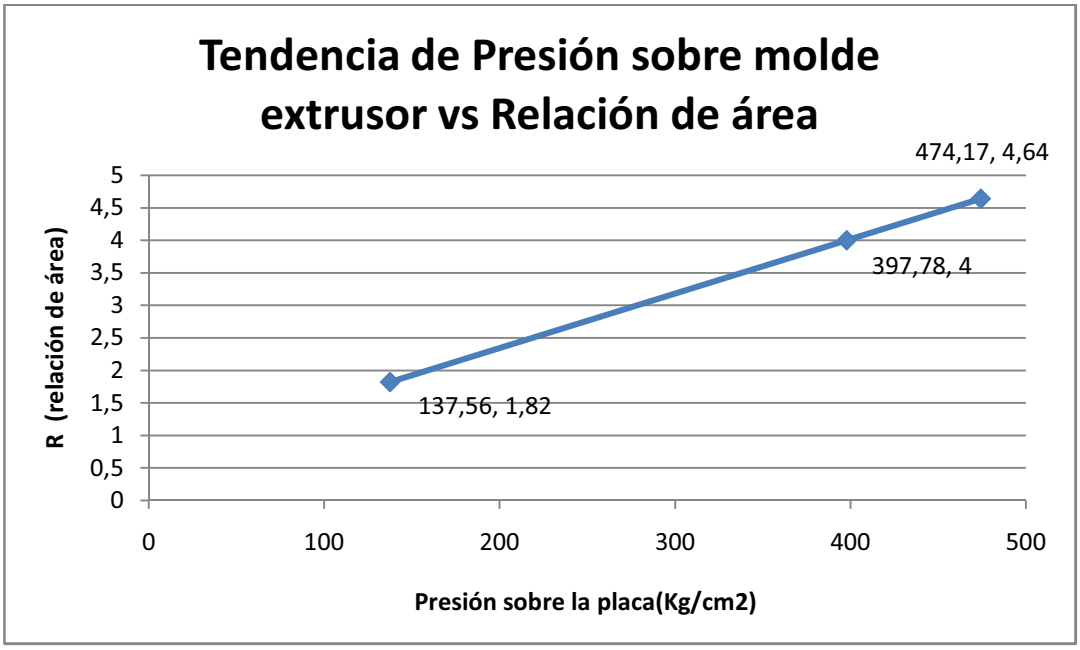
Interpolamos los valores para hallar el valor de x = 474.17, que es el valor de la presión que se ejerce sobre el molde extrusor cuando la relación de áreas es de 4.64.

Presión sobre la placa(Kg/cm2)	**R(relación de área)**
137.56	1.82
397.78	4
x = 474.17	4.64

$$\frac{y - y_a}{y_b - y_a}(x_b - x_a) = x - x_a$$

$$\frac{4.64 - 1.82}{4 - 1.82}(397.78 - 137.56) = x - 137.56$$

$$x = 474.17$$



Al ver los datos resultantes y la gráfica, vemos una tendencia casi lineal del incremento de la presión cuando se disminuye el área perforada o área libre por donde pasa el CO_2 sólido. Es decir que para éste diseño tendremos una presión aproximada de 474 kg/cm^2≈ 500 kg/cm^2 sobre el molde extrusor.

Este dato es de consideración fundamental para el diseño de la cámara de formación, diseño del cilindro de compresión de nieve carbónica y la selección del sistema hidráulico.

En las Tabla 1 y 2 vemos en detalle un desglose del proceso de extrusión del hielo seco con el equipo que se dispone actualmente. En los resultados vemos que un 9% de la masa del hielo seco se pierde durante la manipulación previo a ingresar al equipo para ser extruido. Durante el proceso de extrusión se obtuvo una eficiencia mínima del 65% y una máxima del 79.5%. Para todo el proceso la eficiencia máxima de conversión de un bloque de hielo seco en pellets de hielo seco de 3mm fue del 72.3% para las condiciones ambientales de Quito. Cabe recalcar que en Guayaquil a eficiencia se reduciría considerablemente, debido a las condiciones de temperatura. El molde utilizado para las pruebas tenía un 25% de área perforada.

Tabla 1. Eficiencia durante la manipulación de los bloques del hielo seco.

Eficiencia de Producción	
Bloque pesado en fábrica (kg)	25.7
Manipulación y pérdida por sublimación	3.5%
Corte con Cortadora	
Masa bloque entero (kg)	24.8
Masa después de cortar (kg)	24.05
Diferencia	0.75
Porcentaje perdido	3.02%
Corte con cuchillo	
Masa bloque entero (kg)	3.95
Masa después de trocear (kg)	3.85
Diferencia	0.1
Porcentaje perdido	2.53%
Total perdido durante preparación	9.05%

Tabla 2. Medición de datos durante la extrusión del hielo seco.

Descripción	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Ensayo 4	Ensayo 5	Ensayo 6
Masa en bloques de hielo seco (kg)	5.62	8.075	7.95	7.83	7.6	8.68
Masa en pellets de hielo seco resultante (kg)	3.7	6.05	6.27	6.17	6	6.9
Desperdicios por junta camara - molde (kg)	0.065	0.265	0.310	0.320	0.290	0.320
Presión hidráulica máxima (Psi)	2600	3200	3300	3300	3450	3450
Corriente Mínima (Amp)	5.2	5.5	5.6	5.5	5.6	5.5
Corriente Máxima (Amp)	11	13	15	14	18	17
Voltaje promedio (V)	225	225	225	225	225	225
Temperatura camara de formación (ºC)	21	-15	-25	-42	-45	-46
Temperatura molde de extrusión (ºC)	21	-30	-40	-56	-57	-58
Eficiencia de producción	65.84%	74.92%	78.87%	78.80%	78.95%	79.49%
Porcentaje de desperdicios camara - molde	1.16%	3.28%	3.90%	4.09%	3.82%	3.69%
Eficiencia Total máxima alcanzada	59.88%	68.14%	71.73%	71.67%	71.80%	72.30%

APÉNDICE B

FORMACIÓN DE HIELO SECO

GRAFICAS Y TABLAS DE PROPIEDADES

DEL HIELO SECO

APENDICE B1

FORMACION HIELO SECO

Para la transformación de la nieve carbónica, se usa el método de estrangulación de CO_2 líquido, y hacer que su presión se expanda hasta la atmosférica.

En el equipo a diseñar, se utiliza una válvula de estrangulación, la cual reduciría la presión hasta la presión atmosférica y resultaría en la formación del hielo seco.

Presión inicial = 20 Bar.

Presión final = 0 Bar.

Para conocer el flujo de Co2 líquido a través de un orificio, se utilizó la Ecuación 1 del Capítulo 4 del HANDBOOK del ASHRAE 2010.

$$d = \left(\frac{Q}{C_d}\right)^{0.5} \left(\frac{\rho}{P}\right)^{0.25}$$

d = 3 (diámetro orificio de descarga, mm)

Q = ¿? (flujo de descarga a través del orificio, mLt/seg)

C_d = 0.65 (coeficiente de descarga del orificio)

ρ = 1032.125 (densidad del fluido a -18ºC y 20 Bar, kg/m^3)

P_d= 2 x 10^6 (caída de presión a través del orificio, Pa)

Entonces

$$Q = (C_d) \left(\frac{d^2}{\left(\frac{\rho}{P_d}\right)^{1/2}} \right)$$

$$Q = (0.65) \left(\frac{(3)^2}{\left(\frac{1032.125}{2\ X\ 10^6}\right)^{1/2}} \right) = 257.50\ mLt/seg$$

$$Q = 0.2652 \frac{kg}{seg}$$

El 55% del líquido de CO_2 se transforma en vapor y el 45% se transforma en nieve carbónica.

Es decir que tendremos:

Un flujo de vapor de CO_2

$$Q_{vCO_2} = 0.55(0.2652) = 0.1458 \frac{kg}{seg}$$

Un flujo de CO_2 sólido o nieve carbónica

$$Q_{sCO_2} = 0.45\ (0.2652) = 0.1193\ kg/seg$$

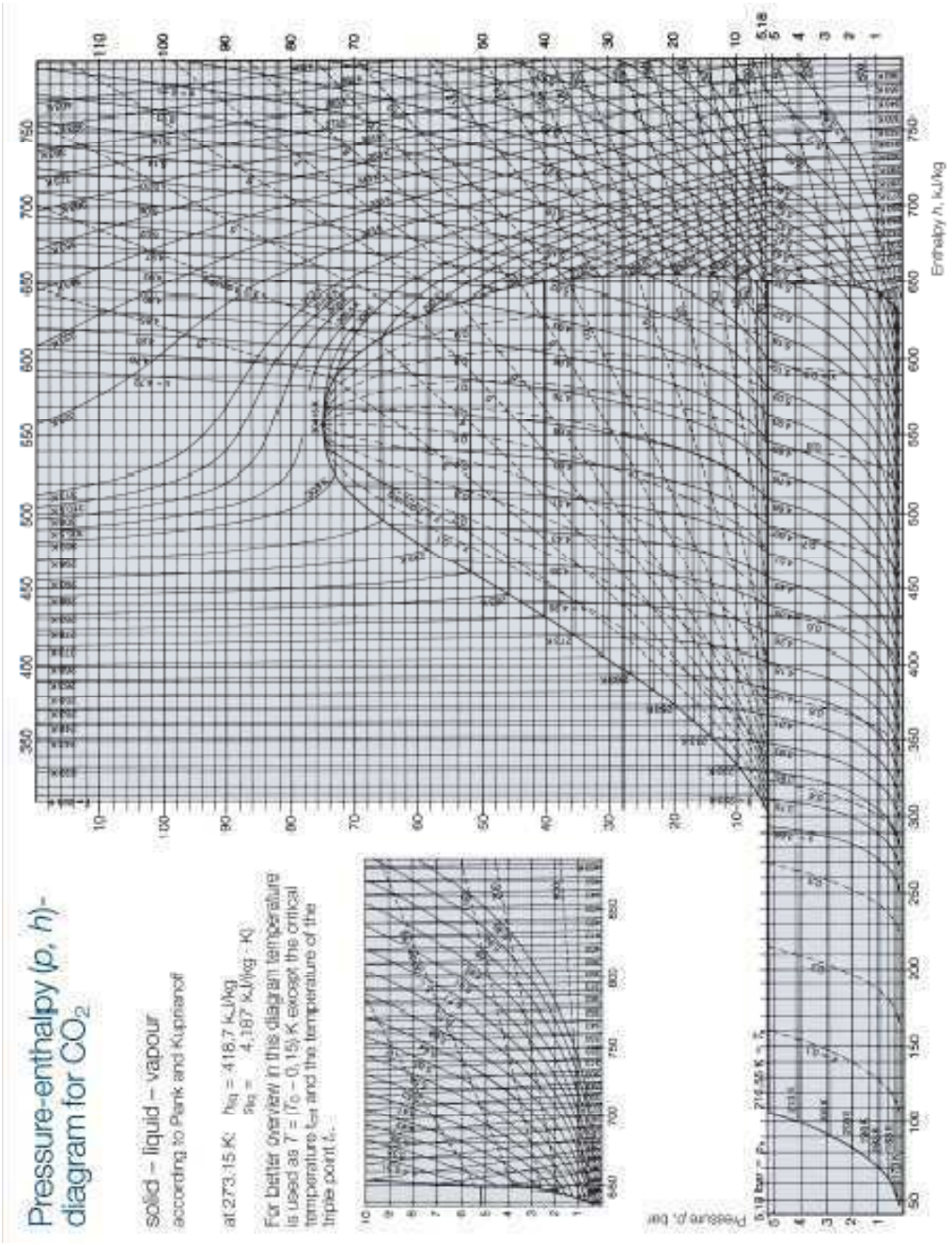
La capacidad volumétrica de la cámara de formación es de 4 litros. Con una densidad de la nieve carbónica de 0.6 kg/lt, al llenarse la cámara, se tendrá 2.4 kg de nieve.

Para poder tener una masa de 2.4 kg, el flujo debe permanecer abierto por

$$t = \frac{m}{Q_m} = \frac{2.4\ kg}{0.1193 kg/seg} = 20.1\ seg$$

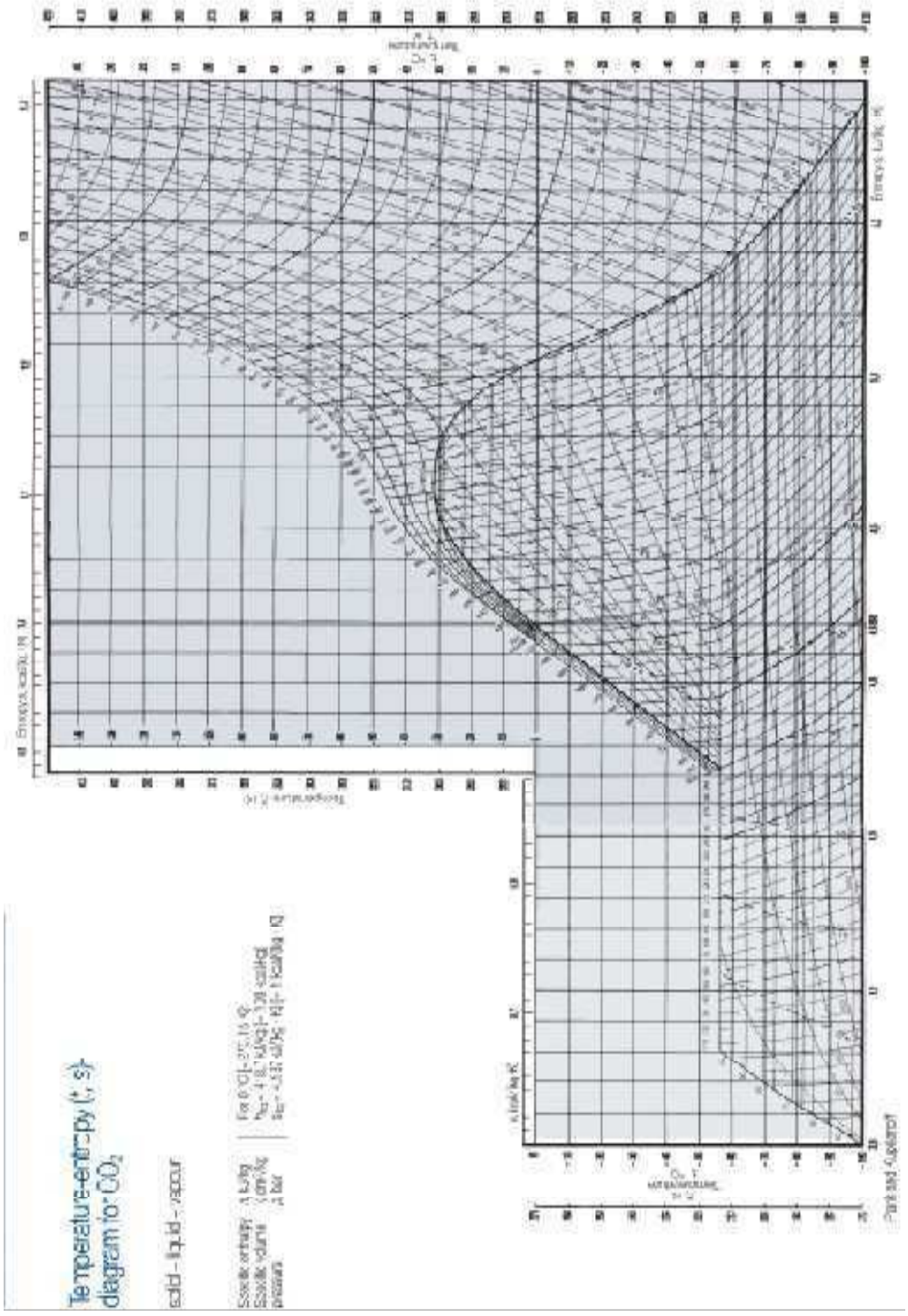
APÉNDICE B2

Gráfica del CO_2 Presión – Entalpía [10]



APÉNDICE B3

Gráfica del CO_2 Temperatura – Entropía [10].



APÉNDICE B4

Tabla de Propiedades del CO_2 Líquido – Vapor [10].

Table of properties for CO_2 liquid – vapour

(Table: CO_2-Properties of saturated solid, liquid and vapour)

t, °C	T, K	p, bar	Density, kg/m³		Enthalpy, kJ/kg		Latent heat of vaporization, kJ/kg	Entropy, kJ/(kg·K)	
			ϱ_{liq}	ϱ_{ga}	h_{liq}	h_{ga}		s_{liq}	s_{ga}
+31	304,15	73,83	466,0	466,0	558,94	558,94	0	4,6465	4,6465
+30	303,15	71,92	596,4	334,4	527,12	590,13	63,01	4,5444	4,7524
+25	298,15	64,32	705,8	240,0	497,39	616,84	119,45	4,4497	4,8504
+20	293,15	57,33	770,7	190,2	477,30	632,63	155,33	4,3827	4,9128
+15	288,15	50,93	817,9	158,0	460,97	641,29	180,32	4,3292	4,9551
+10	283,15	45,06	858,0	133,0	445,89	647,24	201,35	4,2781	4,9894
+ 5	278,15	39,72	893,1	113,0	431,66	650,84	219,18	4,2300	5,0179
0	273,15	34,85	924,8	96,3	418,68	653,69	235,01	4,1868	5,0472
−5	268,15	30,45	953,8	82,4	405,74	654,86	249,12	4,1480	5,0698
−10	263,15	26,47	980,8	70,5	393,94	655,65	261,71	4,0976	5,0924
−15	258,15	22,89	1006,1	60,2	382,84	656,07	273,23	4,0570	5,1154
−20	253,15	19,67	1029,9	51,4	372,33	656,36	284,03	4,0168	5,1380
−25	248,15	16,81	1052,6	43,8	362,28	655,95	293,67	3,9779	5,1615
−30	243,15	14,27	1074,2	37,0	352,49	655,49	303,00	3,9389	5,1854
−35	238,15	12,02	1094,9	31,2	342,82	654,77	311,95	3,8996	5,2096
−40	233,15	10,05	1115,0	26,2	333,23	653,62	320,62	3,8594	5,2348
−45	228,15	8,33	1134,5	21,8	323,64	652,68	329,04	3,8184	5,2607
−50	223,15	6,84	1153,5	18,1	314,05	651,34	337,29	3,7765	5,2883
−55	218,15	5,55	1172,1	14,8	304,46	649,88	345,42	3,7334	5,3172
−56,6	216,55	5,18	1177,9	13,8	301,32	649,33	348,01	3,7205	5,3273

APÉNDICE B5

Tabla de Propiedades del CO_2 Líquido – Vapor [10].

Table of properties for CO_2 solid – vapour

(Table: CO_2-Properties of saturated solid, liquid and vapour)

t, °C	T, K	p, bar	Density, kg/m³		Enthalpy, kJ/kg		Latent heat of vaporization, kJ/kg	Entropy, kJ/(kg·K)	
			ϱ_{sol}	ϱ_{ga}	h_{sol}	h_{ga}		s_{sol}	s_{ga}
−56,6	216,55	5,18	1512,4	13,84	105,55	649,33	543,78	2,8156	5,3273
−60	213,15	4,10	1521,9	10,97	99,27	649,21	549,94	2,7863	5,3671
−65	208,15	2,87	1534,6	7,74	89,97	648,41	558,44	2,7428	5,4261
−70	203,15	1,98	1546,1	5,39	82,02	646,94	564,92	2,7043	5,4860
−75	198,15	1,34	1556,5	3,71	75,07	645,02	569,95	2,6695	5,5467
−78,9	194,25	0,98	1564,0	2,74	70,05	643,18	573,13	2,6435	5,5948
−80	193,15	0,896	1566,1	2,51	68,71	642,63	573,92	2,6373	5,6095
−85	188,15	0,584	1574,8	1,672	62,72	639,99	577,27	2,6059	5,6748
−90	183,15	0,372	1582,2	1,087	56,90	637,06	580,16	2,5749	5,7435
−95	178,15	0,231	1588,9	0,693	51,20	633,97	582,77	2,5431	5,8150
−100	173,15	0,139	1595,2	0,428	45,55	630,74	585,19	2,5104	5,8908

APÉNDICE B6

Tabla de densidades del CO_2 a diferentes temperaturas y presiones [10].

Density of CO_2

in kg/m³ at different temperatures and pressures

p, bar \ t, °C (K)	−50 223,15	−40 233,15	−30 243,15	−20 253,15	−10 263,15	0 273,15	10 283,15
1	2,403	2,296	2,198	2,109	2,026	1,951	1,880
2	4,873	4,646	4,442	4,255	4,085	3,928	3,784
3	7,414	7,055	6,733	6,442	6,177	5,934	5,711
4	10,034	9,526	9,075	8,669	8,303	7,969	7,663
5	12,739	12,064	11,470	10,941	10,465	10,033	9,640
6	15,538	14,675	13,923	13,258	12,665	12,129	11,643
7	1155,755	17,364	16,437	15,625	14,904	14,258	13,673
8	1155,992	20,139	19,016	18,043	17,184	16,419	15,731
9	1156,230	23,008	21,667	20,515	19,509	18,617	17,818
10	1156,467	25,982	24,394	23,046	21,879	20,851	19,934
20	1158,813	1119,813	1078,048	1032,125	48,795	45,648	43,035
30	1161,118	1122,604	1081,518	1036,625	985,771	77,333	71,056
40	1163,384	1125,334	1084,890	1040,948	991,661	933,318	108,323
50	1165,612	1128,007	1088,171	1045,111	997,231	941,517	870,489
60	1167,805	1130,627	1091,366	1049,128	1002,523	949,064	883,203
70	1169,963	1133,194	1094,480	1053,011	1007,569	956,075	894,280
80	1172,089	1135,713	1097,519	1056,770	1012,393	962,634	904,154
90	1174,182	1138,185	1100,487	1060,416	1017,020	968,806	913,099
100	1176,244	1140,613	1103,388	1063,955	1021,468	974,642	921,302
200	1195,392	1162,802	1129,374	1094,812	1058,791	1020,927	980,760
300	1212,373	1182,053	1151,308	1119,963	1087,853	1054,818	1020,700
400		1199,169	1170,456	1141,446	1112,039	1082,149	1051,709
500		1214,648	1187,545	1160,335	1132,943	1105,317	1077,420

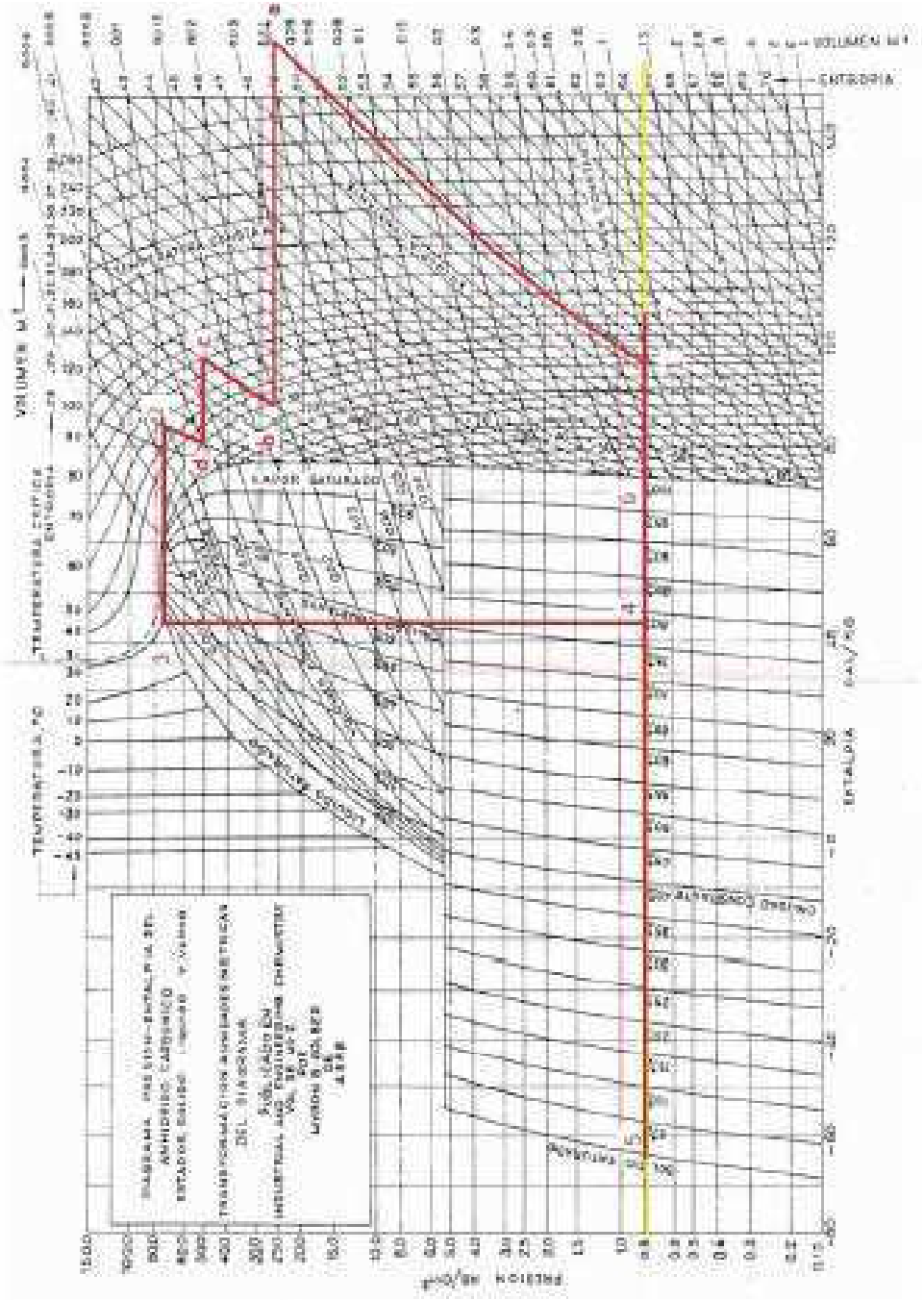
Density of CO_2

in kg/m³ at different temperatures and pressures

p, bar \ t, °C (K)	20 293,15	30 303,15	40 313,15	50 323,15	60 333,15	70 343,15	80 353,15
1	1,815	1,754	1,697	1,644	1,594	1,5474	1,5031
2	3,650	3,525	3,409	3,301	3,200	3,1047	3,0150
3	5,505	5,314	5,137	4,971	4,817	4,6719	4,5355
4	7,381	7,121	6,880	6,655	6,445	6,2493	6,0650
5	9,279	8,946	8,638	8,352	8,086	7,8369	7,6034
6	11,198	10,790	10,413	10,063	9,738	9,4348	9,1508
7	13,140	12,653	12,203	11,788	11,402	11,0433	10,7074
8	15,106	14,535	14,011	13,527	13,079	12,6624	12,2733
9	17,095	16,438	15,836	15,281	14,768	14,2923	13,8485
10	19,110	18,361	17,678	17,050	16,470	15,9332	15,4332
20	40,806	38,866	37,153	35,621	34,238	32,9802	31,8283
30	66,202	62,250	58,925	56,060	53,548	51,3167	49,3119
40	97,510	89,782	83,774	78,869	74,734	71,1683	68,0394
50	140,532	123,995	113,019	104,805	98,258	92,8294	88,2032
60	784,972	171,486	149,201	135,098	124,789	116,6919	110,0440
70	810,026	268,984	198,315	171,921	155,337	143,2873	133,8636
80	828,801	699,939	281,328	219,584	191,481	173,3417	160,0380
90	844,105	743,739	484,090	287,528	235,732	207,8317	189,0221
100	857,159	771,414	622,640	389,912	291,658	247,9632	221,3241
200	937,723	891,127	840,193	784,233	723,192	658,6143	594,1590
300	985,353	948,648	910,500	870,900	829,966	788,0056	745,5433
400	1020,670	989,008	956,729	923,879	890,554	856,9055	823,1460
500	1049,235	1020,764	992,028	963,072	933,967	904,8086	875,7146

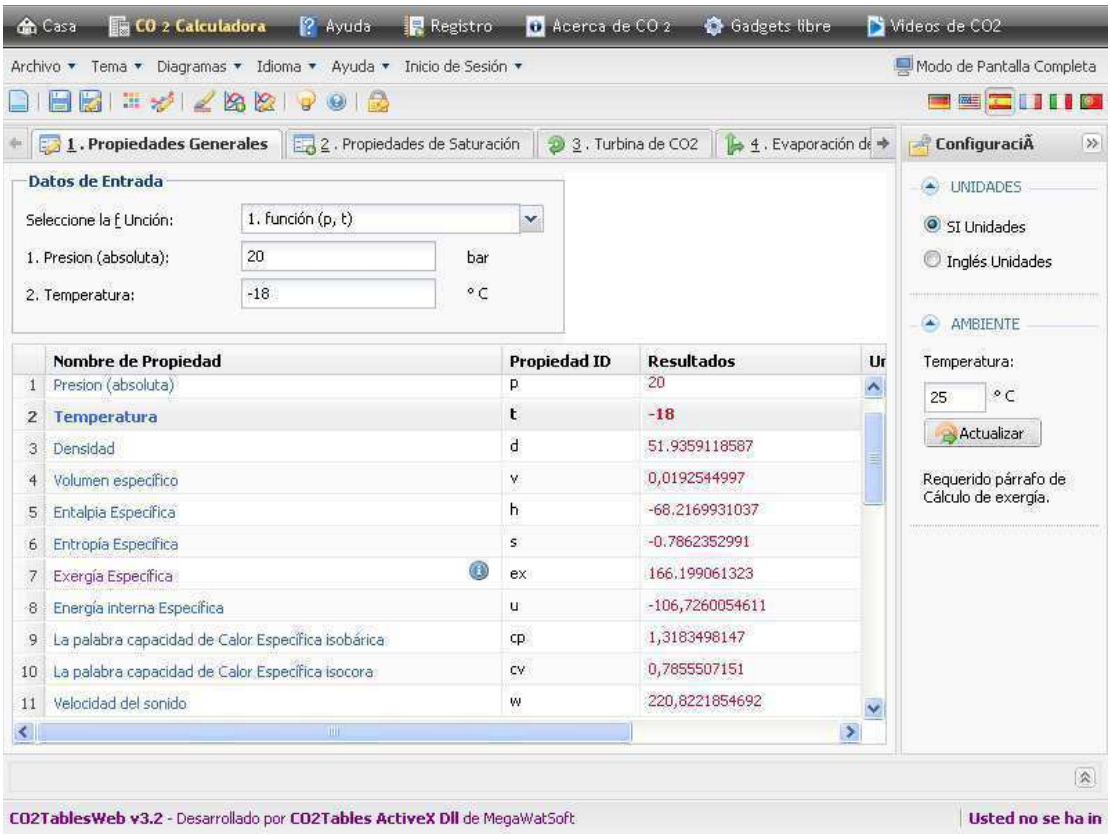
APÉNDICE B7

Diagrama Presión Entalpía del anhídrido carbónico [19].



APÉNDICE B8

Programa en línea para el cálculo de propiedades del CO_2 [20].



APÉNDICE C

PROPIEDADES DE LOS MATERIALES UTILIZADOS

APÉNDICE C1

Propiedades del Acero Inoxidable DIN 1.2316 [18].

Propiedades mecánicas	Métrico	Inglés
Dureza, Brinell	<= 235	<= 235
	270 a 330	270 a 330
Dureza, Rockwel C	42,0 a 48,0	42,0 a 48,0
	46,0 a 49,0	46,0 a 49,0
Resistencia a la tracción, último	<= 800 MPa	<= 116.000 psi
	859,8 - 1100 MPa	130500 - 163000 psi
Resistencia a la tracción, rendimiento	650 MPa @ cepa 0,200%	94,300 psi @ cepa 0,200%
	470 MPa @ cepa 0,200%, temperatura 399 °C	68,200 psi @ cepa 0,200%, temperatura 750 °F
	530 MPa @ cepa 0,200%, temperatura 199 °C	76,900 psi @ cepa 0,200%, temperatura 390 °F

Elementos de propiedades de los componentes	Métrico	Inglés
De carbono, C	0,380%	0,380%
Cromo, Cr	16,0%	16,0%
Mr mangareso,	0,65%	0,65%
Molibdeno, Mo	1,0%	1,0%
Níquel, N	0,80%	0,80%
De silicio, Si	0,40%	0,40%

APÉNDICE C2

Tratamientos Térmicos para el Acero DIN 1.2316 [23].

BÖHLER M303 EXTRA se suministra templado y revenido (290 – 330 HB), por lo que generalmente no precisa tratamiento térmico.

Recocido de distensión después de la mecanización en estado pre-templado:

- max. 400 °C
- Tras el calentamiento integral, mantener a temperatura un mínimo de 2 horas en atmósfera neutra.
- Enfriamiento lento en el horno a una velocidad de 20 °C/h hasta 200 °C, luego al aire.

En caso de ser necesaria una dureza superior, recomendamos seguir el siguiente procedimiento:

Recocido

- 700 – 725 °C
- Duración del recocido mín. 25 horas después del calentamiento integral.
- Enfriamiento lento y controlado a una velocidad de 10 – 20 °C/h hasta aprox. 500°C, luego enfriamiento en aire.
- Dureza después del recocido blando: ~ 235 HB.

Recocido de distensión después de la mecanización en estado recocido:

- aprox. 650 °C
- Tras el calentamiento integral, mantener durante 1–2 horas en atmósfera neutra
- Enfriamiento lento en el horno con 20 °C/h hasta 300°C, luego enfriamiento al aire

Temple

- 1000 hasta 1020 °C / aceite, N_2 baño térmico (400 hasta 450 °C).
- Tiempo de mantenimiento después del calentamiento integral: 15 – 30 minutos.
- Dureza alcanzable: 51 a 53 HRC.

Revenido

- Calentamiento lento a temperatura de revenido inmediatamente después del temple.
- Tiempo de permanencia en el horno 1 hora por cada 20 mm de espesor de la pieza, pero no menos de 2 horas.
- Recomendamos un mínimo de 2 revenidos. Es aconsejable efectuar un tercer revenido de distensión 30 – 50°C por debajo de la temperatura de revenido.
- Para información sobre la dureza alcanzable después del revenido ver el diagrama de revenido.

APÉNDICE C3

Propiedades del Acero Inoxidable AISI 304 [18].

Physical Properties	Metric	English
Density	8 g/cc	0.289 lb/in³
Mechanical Properties		
Hardness, Brinell	123	123
Hardness, Knoop	138	138
Hardness, Rockwell B	70	70
Hardness, Vickers	129	129
Tensile Strength, Ultimate	568 MPa	83496 psi
Tensile Strength, Yield	276 MPa	40572 psi
Elongation at Break	70 %	70 %
Modulus of Elasticity	193 - 200 GPa	28000 - 29000 ksi
Poisson's Ratio	0.29	0.29
Charpy Impact	325 J	240 ft-lb
Shear Modulus	86 GPa	12500 ksi

APÉNDICE C4

Propiedades Mecánicas del Aluminio al Bronce UNS C61300 [18].

Mechanical Properties			
Hardness, Rockwell B	82	82	O60 temper
Hardness, Rockwell B	91	91	H04 temper
Tensile Strength, Ultimate	551.48 MPa	81067.56 psi	O60 temper
Tensile Strength, Ultimate	585 MPa	84800 psi	H04 temper
Tensile Strength, Yield	275.74 MPa	40533.78 psi	0.5% extension, O60 temper
Tensile Strength, Yield	400 MPa	58000 psi	0.5% extension, H04 temper
Elongation at Break	35 %	35 %	in 50 mm, H04 temper
Elongation at Break	42 %	42 %	in 50 mm, O60 temper
Reduction of Area	25 %	25 %	H04 temper
Reduction of Area	32 %	32 %	O60 temper
Modulus of Elasticity	115 GPa	16700 ksi	
Compressive Strength	825 MPa	120000 psi	O60 temper
Compressive Strength	860 MPa	125000 psi	H04 temper
Poisson's Ratio	0.312	0.312	
Charpy Impact	81 - 88 J	59.7 - 64.9 ft-lb	Keyhole, at -30 to 150°C
Izod Impact	54 - 66 J	39.8 - 48.7 ft-lb	at -30 to 150°C
Fatigue Strength	180 MPa	26100 psi	Reverse bending, at 10^8 cycles
Machinability	30 %	30 %	Based on 100% machinability for UNS C360000
Shear Modulus	44 GPa	6380 ksi	

APÉNDICE D

TABLAS Y GRÁFICAS PARA EL DISEÑO MECÁNICO

APÉNDICE D1

Parámetros en el factor de la condición superficial [11].

Table 6–2

Parameters for Marin Surface Modification Factor, Eq. (6–19)

Surface Finish	Factor a S_{ut}, kpsi	Factor a S_{ut}, MPa	Exponent b
Ground	1.34	1.58	−0.085
Machined or cold-drawn	2.70	4.51	−0.265
Hot-rolled	14.4	57.7	−0.718
As-forged	39.9	272.	−0.995

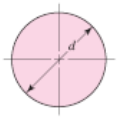
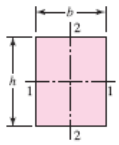
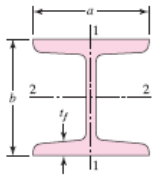
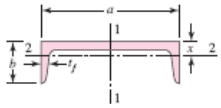
From C.J. Noll and C. Lipson, "Allowable Working Stresses," *Society for Experimental Stress Analysis*, vol. 3, no. 2, 1946 p. 29. Reproduced by O.J. Horger (ed.) *Metals Engineering Design ASME Handbook*, McGraw-Hill, New York. Copyright © 1953 by The McGraw-Hill Companies, Inc. Reprinted by permission.

APÉNDICE D2

Áreas $A_{0.95\sigma}$ de perfiles estructurales [11].

Table 6–3

$A_{0.95\sigma}$ Areas of Common Nonrotating Structural Shapes

	$A_{0.95\sigma} = 0.01046d^2$ $d_e = 0.370d$	
	$A_{0.95\sigma} = 0.05hb$ $d_e = 0.808\sqrt{hb}$	
	$A_{0.95\sigma} = \begin{cases} 0.10at_f & \\ 0.05ba & t_f > 0.025a \end{cases}$	axis 1-1 axis 2-2
	$A_{0.95\sigma} = \begin{cases} 0.05ab & \\ 0.052xa + 0.1t_f(b-x) & \end{cases}$	axis 1-1 axis 2-2

APÉNDICE D3

Efecto de la temperatura de operación en la resistencia a la tensión del acero [11].

Table 6–4

Effect of Operating Temperature on the Tensile Strength of Steel.* (S_T = tensile strength at operating temperature; S_{RT} = tensile strength at room temperature; $0.099 \leq \hat{\sigma} \leq 0.110$)

Temperature, °C	S_T/S_{RT}	Temperature, °F	S_T/S_{RT}
20	1.000	70	1.000
50	1.010	100	1.008
100	1.020	200	1.020
150	1.025	300	1.024
200	1.020	400	1.018
250	1.000	500	0.995
300	0.975	600	0.963
350	0.943	700	0.927
400	0.900	800	0.872
450	0.843	900	0.797
500	0.768	1000	0.698
550	0.672	1100	0.567
600	0.549		

*Data source: Fig. 2–9.

APÉNDICE D4

Factor de confiabilidad [11].

Table 6–5

Reliability Factors k_e Corresponding to 8 Percent Standard Deviation of the Endurance Limit

Reliability, %	Transformation Variate z_a	Reliability Factor k_e
50	0	1.000
90	1.288	0.897
95	1.645	0.868
99	2.326	0.814
99.9	3.091	0.753
99.99	3.719	0.702
99.999	4.265	0.659
99.9999	4.753	0.620

APÉNDICE D5

Diámetros y áreas de roscas métricas de paso grueso y fino [11].

Table 8–1

Diameters and Areas of Coarse-Pitch and Fine-Pitch Metric Threads.*

Nominal Major Diameter d mm	Coarse-Pitch Series: Pitch p mm	Coarse-Pitch Series: Tensile-Stress Area A_t mm²	Coarse-Pitch Series: Minor-Diameter Area A_r mm²	Fine-Pitch Series: Pitch p mm	Fine-Pitch Series: Tensile-Stress Area A_t mm²	Fine-Pitch Series: Minor-Diameter Area A_r mm²
1.6	0.35	1.27	1.07			
2	0.40	2.07	1.79			
2.5	0.45	3.39	2.98			
3	0.5	5.03	4.47			
3.5	0.6	6.78	6.00			
4	0.7	8.78	7.75			
5	0.8	14.2	12.7			
6	1	20.1	17.9			
8	1.25	36.6	32.8	1	39.2	36.0
10	1.5	58.0	52.3	1.25	61.2	56.3
12	1.75	84.3	76.3	1.25	92.1	86.0
14	2	115	104	1.5	125	116
16	2	157	144	1.5	167	157
20	2.5	245	225	1.5	272	259
24	3	353	324	2	384	365
30	3.5	561	519	2	621	596
36	4	817	759	2	915	884
42	4.5	1120	1050	2	1260	1230
48	5	1470	1380	2	1670	1630
56	5.5	2030	1910	2	2300	2250
64	6	2680	2520	2	3030	2980
72	6	3460	3280	2	3860	3800
80	6	4340	4140	1.5	4850	4800
90	6	5590	5360	2	6100	6020
100	6	6990	6740	2	7560	7470
110				2	9180	9080

*The equations and data used to develop this table have been obtained from ANSI B1.1-1974 and B18.3.1-1978. The minor diameter was found from the equation $d_r = d - 1.226\,869p$, and the pitch diameter from $d_p = d - 0.649\,519p$. The mean of the pitch diameter and the minor diameter was used to compute the tensile-stress area.

APÉNDICE D6

Cálculo de rosca de tensores.

Para el diámetro del tensor que es $24\ \mathrm{mm}$, de acero inoxidable AISI 304, se selecciona una rosca de paso grueso de $3\ \mathrm{mm}$, $A_t = 353\ mm^2$ y $A_d = 324\ mm^2$, (véase tabla 8 -1, Apéndice D).

Se selecciona dieciséis tuercas hexagonales M24x3 de donde $H = 23.9\ mm$, (véase tabla A -31, Apéndice D).

Dieciséis arandelas tamaño 24N, $t = 4.6\ mm$(véase tabla A –33, Apéndice D).

Para el cálculo de la rosca se tiene que considerar:

$$L_T = 2d + 12mm \quad 125 < L \leq 200;\ \ d \leq 48\ \ (ec.\ 8-14)$$

$$L_T = 2\ (24\ \mathrm{mm}) + 12mm = 60\ mm$$

$$l = espesor\ placa\ ultima + t = 90mm + 4.6mm = 94.6mm$$

$$L = L_T/2 + t + H = 30mm + 4.6mm + 23.9mm = 134.25mm$$

$$l_d = L - L_T = 134.25mm - 60mm = 74.25mm$$

$$l_d = 90mm - 30mm - 4.6mm - 23.9mm = 74.25mm$$

$$l_t = l - l_d = 94.6mm - 74.25mm = 20.35mm$$

$$k_b = \frac{A_d A_t E}{A_d l_t + A_t l_d} \quad (ec.\ 8-17)$$

$$k_b = \frac{(324\ mm^2)(353\ mm^2)(207GPa)}{(324\ mm^2)(20.35mm) + (353\ mm^2)(74.25mm)} = 7.21x10^5 \frac{N}{mm}$$

$$k_m = \frac{0.5774\pi E d}{2ln\left[5\left(\frac{0.5774l+0.5d}{0.5774l+2.5d}\right)\right]} \quad (ec.\ 8-22)$$

$$k_m = \frac{0.5774\pi(207GPa)(24mm)}{2ln\left[5\left(\frac{0.5774(94.6mm)+0.5(24mm)}{0.5774(94.6mm)+2.5(24mm)}\right)\right]} = 4.22x10^6 \frac{N}{mm}$$

$$F_z = P = 75128.75\ N$$

$$P_b = \frac{k_b P}{k_b + k_m} = CP\ pag\ 421$$

$$CP = \frac{\left(7.21x10^5 \frac{N}{mm}\right)(75.13kN)}{\left(7.21x10^5 \frac{N}{mm}\right) + \left(4.22x10^6 \frac{N}{mm}\right)} = 10.96kN$$

$$S_p = 0.85S_y$$

$$S_p = 0.85(276MPa) = 234.6\ MPa$$

$$F_p = A_t S_p \quad (ec.\ 8-31)$$

$$F_p = (353\ mm^2)(234.6\ MPa) = 82.82kN$$

$$F_i = 0.75F_b (ec.\ 8-30)$$

$$F_i = 0.75(82.82kN) = 62.11kN$$

$$\sigma_a = \frac{CP}{2A_t} \quad (ec.\ 8-34)$$

$$\sigma_a = \frac{10.96kN}{2(353\ mm^2)} = 15.52\ MPa$$

$$\sigma_m = \frac{CP}{2A_t} + \frac{F_i}{A_t} \quad (ec. 8-35)$$

$$\sigma_m = 15.52\ MPa + \frac{62.11kN}{353\ mm^2} = 191.47\ MPa$$

Para M24 $S_e = 162\ MPa$, (véase tabla 8 -17, Apéndice D).

$$\frac{\sigma_a}{\mathrm{S_e}} + \frac{\sigma_m}{\mathrm{S_{ut}}} = \frac{1}{\mathrm{n}} \quad (1)$$

$$\frac{15.52\ MPa}{162\ MPa} + \frac{191.47\ MPa}{568\ MPa} = \frac{1}{n}$$

$$n = 2.31$$

Parámetros de la rigidez de varios metales [11].

Table 8–8

Stiffness Parameters of Various Member Materials†

†Source: J. Wileman, M. Choudury, and I. Green, "Computation of Member Stiffness in Bolted Connections," Trans. ASME, J. Mech. Design, vol. 113, December 1991, pp. 432–437.

Material Used	Poisson Ratio	Elastic GPa	Modulus Mpsi	A	B
Steel	0.291	207	30.0	0.787 15	0.628 73
Aluminum	0.334	71	10.3	0.796 70	0.638 16
Copper	0.326	119	17.3	0.795 68	0.635 53
Gray cast iron	0.211	100	14.5	0.778 71	0.616 16
General expression				0.789 52	0.629 14

Resistencias a la fatiga completamente corregidas de pernos y tornillos con roscas laminadas [11].

Table 8–17

Fully Corrected Endurance Strengths for Bolts and Screws with Rolled Threads*

Grade or Class	Size Range	Endurance Strength
SAE 5	$\frac{1}{4}$–1 in	18.6 kpsi
	$1\frac{1}{8}$–$1\frac{1}{2}$ in	16.3 kpsi
SAE 7	$\frac{1}{4}$–$1\frac{1}{2}$ in	20.6 kpsi
SAE 8	$\frac{1}{4}$–$1\frac{1}{2}$ in	23.2 kpsi
ISO 8.8	M16–M36	129 MPa
ISO 9.8	M1.6–M16	140 MPa
ISO 10.9	M5–M36	162 MPa
ISO 12.9	M1.6–M36	190 MPa

*Repeatedly-applied, axial loading, fully corrected.

Dimensiones de tuercas hexagonales [11].

Table A–31

Dimensions of Hexagonal Nuts

Nominal Size, in	Width W	Height H: Regular Hexagonal	Height H: Thick or Slotted	Height H: JAM
$\frac{1}{4}$	$\frac{7}{16}$	$\frac{7}{32}$	$\frac{9}{32}$	$\frac{5}{32}$
$\frac{5}{16}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{17}{64}$	$\frac{21}{64}$	$\frac{3}{16}$
$\frac{3}{8}$	$\frac{9}{16}$	$\frac{21}{64}$	$\frac{13}{32}$	$\frac{7}{32}$
$\frac{7}{16}$	$\frac{11}{16}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{29}{64}$	$\frac{1}{4}$
$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{7}{16}$	$\frac{9}{16}$	$\frac{5}{16}$
$\frac{9}{16}$	$\frac{7}{8}$	$\frac{31}{64}$	$\frac{39}{64}$	$\frac{5}{16}$
$\frac{5}{8}$	$\frac{15}{16}$	$\frac{35}{64}$	$\frac{23}{32}$	$\frac{3}{8}$
$\frac{3}{4}$	$1\frac{1}{8}$	$\frac{41}{64}$	$1\frac{3}{16}$	$\frac{27}{64}$
$\frac{7}{8}$	$1\frac{5}{16}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{29}{32}$	$\frac{31}{64}$
1	$1\frac{1}{2}$	$\frac{55}{64}$	1	$\frac{35}{64}$
$1\frac{1}{8}$	$1\frac{11}{16}$	$\frac{31}{32}$	$1\frac{5}{32}$	$\frac{39}{64}$
$1\frac{1}{4}$	$1\frac{7}{8}$	$1\frac{1}{16}$	$1\frac{1}{4}$	$\frac{23}{32}$
$1\frac{3}{8}$	$2\frac{1}{16}$	$1\frac{11}{64}$	$1\frac{3}{8}$	$\frac{25}{32}$
$1\frac{1}{2}$	$2\frac{1}{4}$	$1\frac{9}{32}$	$1\frac{1}{2}$	$\frac{27}{32}$
Nominal Size, mm				
M5	8	4.7	5.1	2.7
M6	10	5.2	5.7	3.2
M8	13	6.8	7.5	4.0
M10	16	8.4	9.3	5.0
M12	18	10.8	12.0	6.0
M14	21	12.8	14.1	7.0
M16	24	14.8	16.4	8.0
M20	30	18.0	20.3	10.0
M24	36	21.5	23.9	12.0
M30	46	25.6	28.6	15.0
M36	55	31.0	34.7	18.0

Dimensiones de arandelas métricas simples [11].

Table A–33

Dimensions of Metric Plain Washers (All Dimensions in Millimeters)

Washer Size*	Minimum ID	Maximum OD	Maximum Thickness	Washer Size*	Minimum ID	Maximum OD	Maximum Thickness
1.6 N	1.95	4.00	0.70	10 N	10.85	20.00	2.30
1.6 R	1.95	5.00	0.70	10 R	10.85	28.00	2.80
1.6 W	1.95	6.00	0.90	10 W	10.85	39.00	3.50
2 N	2.50	5.00	0.90	12 N	13.30	25.40	2.80
2 R	2.50	6.00	0.90	12 R	13.30	34.00	3.50
2 W	2.50	8.00	0.90	12 W	13.30	44.00	3.50
2.5 N	3.00	6.00	0.90	14 N	15.25	28.00	2.80
2.5 R	3.00	8.00	0.90	14 R	15.25	39.00	3.50
2.5 W	3.00	10.00	1.20	14 W	15.25	50.00	4.00
3 N	3.50	7.00	0.90	16 N	17.25	32.00	3.50
3 R	3.50	10.00	1.20	16 R	17.25	44.00	4.00
3 W	3.50	12.00	1.40	16 W	17.25	56.00	4.60
3.5 N	4.00	9.00	1.20	20 N	21.80	39.00	4.00
3.5 R	4.00	10.00	1.40	20 R	21.80	50.00	4.60
3.5 W	4.00	15.00	1.75	20 W	21.80	66.00	5.10
4 N	4.70	10.00	1.20	24 N	25.60	44.00	4.60
4 R	4.70	12.00	1.40	24 R	25.60	56.00	5.10
4 W	4.70	16.00	2.30	24 W	25.60	72.00	5.60
5 N	5.50	11.00	1.40	30 N	32.40	56.00	5.10
5 R	5.50	15.00	1.75	30 R	32.40	72.00	5.60
5 W	5.50	20.00	2.30	30 W	32.40	90.00	6.40
6 N	6.65	13.00	1.75	36 N	38.30	66.00	5.60
6 R	6.65	18.80	1.75	36 R	38.30	90.00	6.40
6 W	6.65	25.40	2.30	36 W	38.30	110.00	8.50
8 N	8.90	18.80	2.30				
8 R	8.90	25.40	2.30				
8 W	8.90	32.00	2.80				

N = narrow; R = regular; W = wide.
*Same as screw or bolt size.

APÉNDICE F

HOJAS DE DATOS DE SEGURIDAD DEL CO_2

APÉNDICE F1

Hoja de datos de seguridad del hielo seco [24].

THE LINDE GROUP

Linde

Ficha de datos de seguridad
Dióxido de carbono sólido (hielo seco)

Fecha de elaboración 27.01.2005 Versión : 7.0 ES / S N° FDS : 9390
:
Fecha de revisión : 12.05.2011 Página 1 / 3

1 IDENTIFICACIÓN DE LA SUSTANCIA O DEL PREPARADO Y DE LA SOCIEDAD O EMPRESA

Nombre del producto
Dióxido de carbono sólido (hielo seco)
Nombre comercial
Hielo Seco
Número CEE (EINECS): 204-696-9
Número CAS: 124-38-9
Índice Nº -
Fórmula química CO_2
Nº de Registro de REACH:
Los enumerados en Anexo IV/V del Reglamento n ° 1907/2006/EC (REACH), están exentos de registro.
Utilizaciones conocidas
Desconocido
Identificación de la Compañía
Abelló Linde, S. A., Calle Bailén 105, 08009 Barcelona, España
Números de teléfono de emergencia: +34 93 4 76 74 00

2 IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS

Clasificación de la sustancia o mezcla

Clasificación CE de acuerdo con 1272/2008/CE (CLP)

Clasificado de acuerdo a las Directivas Europeas 67/548/CE y 1999/45/CE.
No clasificada como sustancia peligrosa.
Asfixiante a altas concentraciones.
Elementos de la Etiqueta

- Indicación de peligro
EIGA-As Asfixiante a altas concentraciones.

- Consejos de prudencia

Consejos de prudencia - Prevención
Ninguno

Consejos de prudencia - Respuesta
Ninguno

Consejos de prudencia - Almacenamiento
P403 Almacenar en un lugar bien ventilado.

Consejos de prudencia - Eliminación
Ninguno

3 COMPOSICIÓN E INFORMACIÓN DE LOS INGREDIENTES

Sustancia o mezcla: Sustancia
Impurezas y componentes
Dióxido de carbono sólido (hielo seco)
Número CAS: 124-38-9
Índice Nº: -
Número CEE (EINECS): 204-696-9
Nº de Registro de REACH:
Los enumerados en Anexo IV/V del Reglamento n ° 1907/2006/EC (REACH), están exentos de registro.
No contiene otros componentes o impurezas que puedan influir en la clasificación del producto.

4 PRIMEROS AUXILIOS

Inhalación
A elevadas concentraciones puede causar asfixia. Los síntomas pueden incluir la pérdida de la consciencia o de la movilidad. La víctima no siente la asfixia. Concentraciones pequeñas de CO_2 provocan aumento de la frecuencia respiratoria y dolor de cabeza. Retirar a la víctima a un área no contaminada llevando colocado el equipo de respiración autónoma. Mantener a la víctima caliente y en reposo. Llamar al doctor. Aplicar la respiración artificial si se para la respiración.
Contacto con la piel y con los ojos
Lavar inmediatamente los ojos con agua durante no menos de 15 minutos. En caso de congelación rociar con agua durante 15 minutos. Aplicar un vendaje estéril. Obtener asistencia médica.
Ingestión
En ningun caso tragar, porque frío y presión pueden ser peligrososObtener asistencia médica.

5 MEDIDAS DE LUCHA CONTRA INCENDIOS

Riesgos específicos
La exposición al fuego puede causar la rotura o explosión de los recipientes. No inflamable.
Productos peligrosos de la combustión
Ninguno
Medios de extinción adecuados
Se pueden utilizar todos los extintores conocidos.
Métodos específicos
Sacar los contenedores al exterior o enfriar con agua desde un lugar protegido.
Equipo de protección especial para la actuación en incendios
En espacios confinados utilizar equipos de respiración autónoma de presión positiva.

6 MEDIDAS EN CASO DE ESCAPES / DERRAMES ACCIDENTALES

Precauciones personales
Evacuar el área. Utilizar equipos de respiración autónoma cuando entren en el área a menos que esté probado que la atmósfera es segura. Asegurar la adecuada ventilación de aire. Prevenir la entrada en alcantarillas, sótanos, fosos de trabajo o en cualquier otro lugar donde su acumulación pueda ser peligrosa. Usar ropa de protección.
Precauciones para la protección del medio ambiente
Intentar parar el escape/derrame.
Métodos de limpieza
Ventilar el área.

7 MANIPULACIÓN Y ALMACENAMIENTO

Manipulación
Asegurar la adecuada ventilación de aire. Utilizar sólo equipo específicamente apropiado para este producto y para su presión y temperatura de suministro, en caso de duda contacte con su suministrador. Consulte las instrucciones de manejo del proveedor. La sustancia debe ser manipulada de acuerdo a procedimientos de correcta higiene industrial y seguridad. Purgue el sistema con un gas inerte (por ejemplo helio o nitrógeno) antes de introducir el gas y cuando el sistema esté puesto fuera de servicio. No fumar durante el trabajo con el producto. Los gases a presión únicamente deben ser manipulados por personas con experiencia y adecuadamente formadas. Nunca use una llama directa o equipos eléctricos para aumentar la presión del recipiente. No quite las etiquetas suministradas por el proveedor como identificación del contenido del recipiente. Asegurase que el sistema de gas ha sido (o es

regularmente) comprobado antes de su uso para detectar que no haya fugas.

Almacenamiento

Mantener el contenedor por debajo de 50°C, en un lugar bien ventilado. Cumpla con todos los reglamentos y requisitos legales locales sobre el almacenamiento de los recipientes. Mantener alejado de materiales combustibles. Los envases no deben ser almacenados en condiciones que puedan favorecer la corrosión del recipiente. Los recipientes deben ser almacenados en posición vertical y bien asegurados para evitar su caída. Los recipientes deben ser revisados periódicamente para garantizar unas correctas condiciones de uso y la inexistencia de fugas. Almacene los recipientes en lugares libres de riesgo de incendio y lejos de fuentes de calor e ignición.

8 CONTROLES DE EXPOSICIÓN / PROTECCIÓN PERSONAL

Valor límite de exposición

Tipo de valor	Valor	Nota
VLA-ED	5.000 ppm	INSHT 2010

Protección respiratoria

No requerido.

Protección de las manos

Aviso

Usar guantes de protección contra el frio.

Directriz.

EN 511 Guantes de protección contra el frío.

Protección personal

Asegurar una ventilación adecuada.

9 PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

Información general

Apariencia: Sólido blanco.

Olor: Sin olor que advierta de sus propiedades

Información Importante para la Seguridad de la Salud y del Medio Ambiente

Peso molecular: 44 g/mol

Temperatura de fusión: -56,6 °C

Temperatura de ebullición: -78,5 °C

Punto de sublimación: -78,5 °C

Temperatura crítica: 31 °C

Punto de ignición: No aplicable para gases o mezclas de gases.

Temperatura de auto ignición: No aplicable

Límite de inflamabilidad (% de volumen en aire): No inflamable.

Densidad relativa del gas (aire=1): 1,52

Densidad relativa del líquido (agua=1): 1,03

Presión de vapor a 20 °C: 57,3 bar

Solubilidad en agua: 2000 mg/l

Otros datos

El vapor es más pesado que el aire. Puede acumularse en espacios confinados, particularmente al nivel del suelo o en sótanos.

10 REACTIVIDAD Y ESTABILIDAD

Estabilidad y reactividad

Estable en condiciones normales.

Productos de la descomposición

Afirmaciones sobre la descomposición.

Bajo condiciones normales de uso y almacenamiento, no debe producirse descomposición en productos peligrosos.

11 INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA

General

Altas concentraciones puede causar rápida insuficiencia respiratoria incluos en concentraciones normales de oxígeno. Los síntomas pueden ser dolor de cabeza, nausea y vómitos, que pueden producir inconsciencia o incluso la muerte.

12 INFORMACIONES ECOLÓGICAS

General

Puede causar daños a la vegetación por hielo.

Potencial calentamiento global PCG

1

13 CONSIDERACIONES SOBRE LA ELIMINACIÓN

General

No descargar dentro de ningún lugar donde su acumulación pudiera ser peligrosa. Descargar a la atmósfera en un lugar bien ventilado. Se debe evitar descargar a la atmósfera en grandes cantidades. Contactar con el suministrador si se necesita orientación.

14 INFORMACIÓN RELATIVA AL TRANSPORTE

ADR/RID

No sometido al ADR/RID.

IMDG

Clase	9		
Número de clasificación y especificación			
UN 1845 Carbon dioxide, solid			
Etiquetas	9		
Instrucción de embalaje	P003	Grupo de embalaje	III
EmS	FC, SV		

IATA

Clase	9		
Número de clasificación y especificación			
UN 1845 Carbon dioxide, solid			
Etiquetas	9		
Instrucción de embalaje	P904	Grupo de embalaje	III

Otras informaciones para el transporte

Evitar el transporte en los vehículos donde el espacio de la carga no esté separado del compartimiento del conductor. Asegurar que el conductor está enterado de los riesgos potenciales de la carga y que conoce qué debe hacer en caso de un accidente o emergencia. Asegurar una ventilación adecuada.

15 INFORMACIÓN REGLAMENTARIA

16 OTRAS INFORMACIONES

Asegúrese que se cumplen las normativas nacionales y locales. El riesgo de asfixia es a menudo despreciado y debe ser recalcado durante la formación de los operarios. Antes de utilizar el producto en un nuevo proceso o experimento, debe llevarse a cabo un estudio completo de seguridad y de compatibilidad de los materiales.

Aviso

A pesar de que durante la preparación de este documento se ha tomado especial cuidado, no se acepta ninguna responsabilidad por las lesiones o los daños. Los detalles dados son ciertos y correctos en el momento de llevarse este documento a impresión.

APÉNDICE F2

Hoja de datos de seguridad del CO_2 líquido refrigerado [24].

THE LINDE GROUP

Linde

Ficha de datos de seguridad
Dióxido de carbono líquido refrigerado

Fecha de elaboración 27.01.2005 Versión : 7.0 ES / S N° FDS : 9451

Fecha de revisión : 12.05.2011 Página 1 / 3

1 IDENTIFICACIÓN DE LA SUSTANCIA O DEL PREPARADO Y DE LA SOCIEDAD O EMPRESA

Nombre del producto
Dióxido de carbono líquido refrigerado
Nombre comercial
Dióxido carbono líquido
Biogon C Líquido E290
Número CEE (EINECS): 204-696-9
Número CAS: 124-38-9
Índice N° -
Fórmula química CO_2
N° de Registro de REACH:
Los enumerados en Anexo IV/V del Reglamento n ° 1907/2006/EC (REACH), están exentos de registro.
Utilizaciones conocidas
Desconocido
Identificación de la Compañía
Abelló Linde, S. A., Calle Bailén 105, 08009 Barcelona, España
Números de teléfono de emergencia: +34 93 4 76 74 00

2 IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS

Clasificación de la sustancia o mezcla

Clasificación CE de acuerdo con 1272/2008/CE (CLP)
Gas a presión (Gas licuado refrigerado) - Contiene un gas refrigerado; puede provocar quemaduras o lesiones criogénicas.

Clasificado de acuerdo a las Directivas Europeas 67/548/CE y 1999/45/CE.
No clasificada como sustancia peligrosa.
Asfixiante a altas concentraciones.
Advertencia para el hombre y para el ambiente
Gas licuado fuertemente refrigerado. El contacto con el producto puede producir quemaduras por frío o congelación.
Elementos de la Etiqueta

- Pictogramas del etiquetado

- Palabra de advertencia
Atención

- Indicación de peligro

H281	Contiene un gas refrigerado; puede provocar quemaduras o lesiones criogénicas.
EIGA-As	Asfixiante a altas concentraciones.

- Consejos de prudencia

Consejos de prudencia - Prevención

P282	Llevar guantes que aíslen del frío/gafas/máscara.

Consejos de prudencia - Respuesta

P336+P315	Descongelar las partes heladas con agua tibia. No frotar la zona afectada. Consultar a un médico inmediatamente.

Consejos de prudencia - Almacenamiento

P403	Almacenar en un lugar bien ventilado.

Consejos de prudencia - Eliminación
Ninguno

3 COMPOSICIÓN E INFORMACIÓN DE LOS INGREDIENTES

Sustancia o mezcla: Sustancia
Impurezas y componentes
Dióxido de carbono líquido refrigerado
Número CAS: 124-38-9
Índice N°: -
Número CEE (EINECS): 204-696-9
N° de Registro de REACH:
Los enumerados en Anexo IV/V del Reglamento n ° 1907/2006/EC (REACH), están exentos de registro.
No contiene otros componentes o impurezas que puedan influir en la clasificación del producto.

4 PRIMEROS AUXILIOS

Inhalación
A elevadas concentraciones puede causar asfixia. Los síntomas pueden incluir la pérdida de la consciencia o de la movilidad. La víctima no siente la asfixia. Concentraciones pequeñas de CO_2 provocan aumento de la frecuencia respiratoria y dolor de cabeza. Retirar a la víctima a un área no contaminada llevando colocado el equipo de respiración autónoma. Mantener a la víctima caliente y en reposo. Llamar al doctor. Aplicar la respiración artificial si se para la respiración.
Contacto con la piel y con los ojos
Lavar inmediatamente los ojos con agua durante no menos de 15 minutos. En caso de congelación rociar con agua durante 15 minutos. Aplicar un vendaje estéril. Obtener asistencia médica.
Ingestión
La ingestión no está considerada como una vía potencial de exposición.

5 MEDIDAS DE LUCHA CONTRA INCENDIOS

Riesgos específicos
La exposición al fuego puede causar la rotura o explosión de los recipientes. No inflamable.
Productos peligrosos de la combustión
Ninguno
Medios de extinción adecuados
Se pueden utilizar todos los extintores conocidos.
Métodos específicos
Si es posible detener la fuga de producto. Sacar los contenedores al exterior o enfriar con agua desde un lugar protegido. Si fuga no rociar agua sobre el recipiente. Utilizar el agua para contene el fuego en el área circundante, desde un lugar protegido.
Equipo de protección especial para la actuación en incendios
En espacios confinados utilizar equipos de respiración autónoma de presión positiva.

6 MEDIDAS EN CASO DE ESCAPES / DERRAMES ACCIDENTALES

Precauciones personales
Evacuar el área. Utilizar equipos de respiración autónoma cuando entren en el área a menos que esté probado que la atmósfera es segura. Asegurar la adecuada ventilación de aire. Prevenir la entrada en alcantarillas, sótanos, fosos de trabajo o en cualquier

otro lugar donde su acumulación pueda ser peligrosa. Usar ropa de protección.

Precauciones para la protección del medio ambiente

Intentar parar el escape/derrame. Prevenir la entrada en alcantarillas, sótanos, fosos de trabajo o en cualquier otro lugar donde su acumulación pueda ser peligrosa.

Métodos de limpieza

Ventilar el área. Las fugas de líquido pueden producir fragilidad en materiales estructurales.

7 MANIPULACIÓN Y ALMACENAMIENTO

Manipulación

Debe prevenirse la filtración de agua al interior del recipiente. No permitir el retroceso hacia el interior del recipiente. Utilizar sólo equipo específicamente apropiado para este producto y para su presión y temperatura de suministro, en caso de duda contacte con su suministrador. Compruebe con regularidad la estanqueidad de la planta. Consulte las instrucciones de manejo del proveedor. La sustancia debe ser manipulada de acuerdo a procedimientos de correcta higiene industrial y seguridad. Purgue el sistema con un gas inerte (por ejemplo helio o nitrógeno) antes de introducir el gas y cuando el sistema esté puesto fuera de servicio. No fumar durante el trabajo con el producto. Los gases a presión únicamente deben ser manipulados por personas con experiencia y adecuadamente formadas. Proteja los recipientes de daños físicos; no arrastrar, deslizar, rodar o tirar. Nunca use una llama directa o equipos eléctricos para aumentar la presión del recipiente. No quite las etiquetas suministradas por el proveedor como identificación del contenido del recipiente. Cuando mueva los recipientes, incluso en distancias cortas, use un carro diseñado para el transporte de este tipo de recipientes. No retire las protecciones de las válvulas y en caso de necesidad nunca antes que el recipiente esté situado en su ubicación definitiva y asegurado en una pared o banco de trabajo adecuado. Asegurase que el sistema de gas ha sido (o es regularmente) comprobado antes de su uso para detectar que no haya fugas. Si el usuario tiene alguna dificultad en operar la válvula del recipiente, paralizar su uso y contactar con el proveedor. Cierre la válvula del recipiente después de su uso, incluso cuando esté vacío o esté conectado a un equipo. Nunca debe intentar reparar o modificar las válvulas o equipos de seguridad de los recipientes. Recipientes con válvulas dañadas deben ser devueltos inmediatamente al proveedor. Vuelva a colocar todas las protecciones de las válvulas tan pronto como el recipiente haya sido desconectado de su equipo. Mantenga todas las válvulas limpias y libres de aceites, petróleos o agua. Nunca intente traspasar gases de un recipiente a otro. Los recipientes que contienen o han contenido sustancias inflamables o explosivas no deben ser inertizados con dióxido de carbono líquido. La producción de partículas sólidas de CO_2 puede ser descartada. Debido al riesgo de cargas electrostáticas, el sistema debe ser adecuadamente conectado a tierra. La despresurización del dióxido de carbono líquido por debajo de aproximadamente 5 bar puede crear dióxido de carbono sólido que puede bloquear dispositivos de protección, tuberías y crear hielo seco en el interior de los contenedores.

Almacenamiento

Asegurar las botellas para evitar su caída. Mantener el contenedor por debajo de 50°C, en un lugar bien ventilado. Cumpla con todos los reglamentos y requisitos legales locales sobre el almacenamiento de los recipientes. Los envases no deben ser almacenados en condiciones que puedan favorecer la corrosión del recipiente. Los recipientes deben ser almacenados en posición vertical y bien asegurados para evitar su caída. Los recipientes deben ser revisados periódicamente para garantizar unas correctas condiciones de uso y la inexistencia de fugas. Las protecciones de las válvulas deben estar en su lugar. Almacene los recipientes en lugares libres de riesgo de incendio y lejos de fuentes de calor e ignición. Mantener alejado de materiales combustibles.

8 CONTROLES DE EXPOSICIÓN / PROTECCIÓN PERSONAL

Valor límite de exposición

Tipo de valor	Valor	Nota
VLA-ED	5.000 ppm	INSHT 2010

Protección respiratoria

No requerido.

Protección de las manos

Aviso

EN 511 Guantes de protección contra el frío.

Protección del cuerpo

Protéjase los ojos, cara y piel del contacto con el producto.

Protección personal

Asegurar una ventilación adecuada.

9 PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

Información general

Apariencia: Líquido incoloro

Olor: Sin olor que advierta de sus propiedades

Información importante para la Seguridad de la Salud y del Medio Ambiente

Peso molecular: 44 g/mol

Temperatura de fusión: -56,6 °C

Temperatura de ebullición: -78,5 °C

Punto de sublimación: -78,5 °C

Temperatura crítica: 31 °C

Punto de ignición: No aplicable para gases o mezclas de gases.

Temperatura de auto ignición: No aplicable

Límite de inflamabilidad (% de volumen en aire): No inflamable.

Densidad relativa del gas (aire=1): 1,52

Densidad relativa del líquido (agua=1): 1,03

Presión de vapor a 20 °C: 57,3 bar

Solubilidad en agua: 2000 mg/l

Otros datos

El vapor es más pesado que el aire. Puede acumularse en espacios confinados, particularmente al nivel del suelo o en sótanos.

10 REACTIVIDAD Y ESTABILIDAD

Estabilidad y reactividad

Estable en condiciones normales.

Productos de la descomposición

Afirmaciones sobre la descomposición.

Bajo condiciones normales de uso y almacenamiento, no debe producirse descomposición en productos peligrosos.

11 INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA

General

Altas concentraciones puede causar rápida insuficiencia respiratoria incluos en concentraciones normales de oxigeno. Los síntomas pueden ser dolor de cabeza, nausea y vómitos, que pueden producir inconsciencia o incluso la muerte.

Toxicidad aguda

Altas concentraciones puede causar rápida insuficiencia respiratoria incluos en concentraciones normales de oxigeno. Los síntomas pueden ser dolor de cabeza, nausea y vómitos, que pueden producir inconsciencia o incluso la muerte.

12 INFORMACIONES ECOLÓGICAS

General
Puede causar daños a la vegetación por hielo.
Potencial calentamiento global PCG
1

13 CONSIDERACIONES SOBRE LA ELIMINACIÓN

General
No descargar dentro de ningún lugar donde su acumulación pudiera ser peligrosa. Descargar a la atmósfera en un lugar bien ventilado. Se debe evitar descargar a la atmósfera en grandes cantidades. Contactar con el suministrador si se necesita orientación.
Número de identificación de residuo 16 05 05

14 INFORMACIÓN RELATIVA AL TRANSPORTE

ADR/RID

Clase	2	Código de clasificación	3A

Número de clasificación y especificación
UN 2187 Dióxido de carbono líquido refrigerado
UN 2187 Carbon dioxide, refrigerated, liquid

Etiquetas	2.2	Riesgo N°	22
Instrucción de embalaje	P203		

IMDG

Clase	2.2

Número de clasificación y especificación
UN 2187 Carbon dioxide, refrigerated, liquid

Etiquetas	2.2
Instrucción de embalaje	P203
EmS	FC; SV

IATA

Clase	2.2

Número de clasificación y especificación
UN 2187 Carbon dioxide, refrigerated, liquid

Etiquetas	2.2
Instrucción de embalaje	P202

Otras informaciones para el transporte
Evitar el transporte en los vehículos donde el espacio de la carga no esté separado del compartimiento del conductor. Asegurar que el conductor está enterado de los riesgos potenciales de la carga y que conoce qué debe hacer en caso de un accidente o emergencia. Antes de transportar las botellas sujetarlas adecuadamente. Asegurar una ventilación adecuada. Asegurarse de cumplir con la legislación aplicable.

15 INFORMACIÓN REGLAMENTARIA

16 OTRAS INFORMACIONES

Asegúrese que se cumplen las normativas nacionales y locales. El riesgo de asfixia es a menudo despreciado y debe ser recalcado durante la formación de los operarios. Antes de utilizar el producto en un nuevo proceso o experimento, debe llevarse a cabo un estudio completo de seguridad y de compatibilidad de los materiales.
Aviso
A pesar de que durante la preparación de este documento se ha tomado especial cuidado, no se acepta ninguna responsabilidad por las lesiones o los daños. Los detalles dados son ciertos y correctos en el momento de llevarse este documento a impresión.

Fin del documento

APÉNDICE G

CATÁLOGOS E INFORMACIÓN TÉCNICA

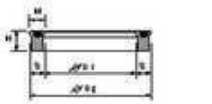
DE FABRICANTES.

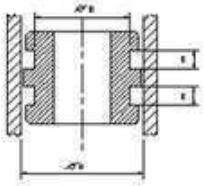
APÉNDICE G1

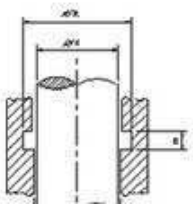
Guarniciones para cilindro de compresión de nieve carbónica [25].

POLI-TER | GUARNICION CON ARO EXPANSOR.

Los Politer son sellos fabricados en poliuretano inyectado, con un baño de disulfuro de molibdeno obteniendo una excelente resistencia a la abrasión y buena compatibilidad con los fluidos utilizados en los circuitos hidráulicos, se encuentran preparados para trabajar en temperaturas de entre -50° y 90° C continuos y hasta 120° en forma intermitente. Este tipo de sello posee un o´ring que actúa como resorte, debido a que no posee contacto con la superficie de actuación no sufre desgastes y la función que cumple es la de proveer resistencia al efecto de compresión compensando el desgaste del sello. La presión de trabajo es de 300 Kg/Cm2.







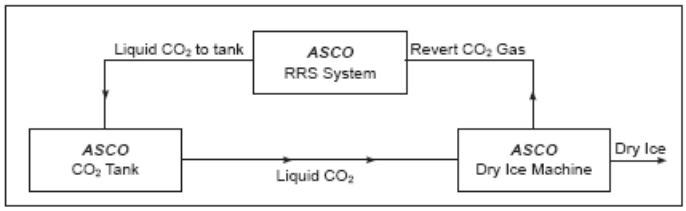
Sección 6,35 mm

Teruel Nº Código Ter	Dimensiones del Alojamiento D.I.	 D.E.	 H
2502750-375B	69,85	82,55	9,52
2502875-375B	73,02	85,72	9,52
2503000-375B	76,20	88,90	9,52
2503250-375B	82,55	95,25	9,52
2503375-375B	85,72	98,42	9,52
2503500-375B	88,90	101,60	9,52

APÉNDICE G2

Sistema de recuperación de CO2 marca ASCO [2].

Revert Recovery System



ASCO Revert Recovery System comprises:

Buffer Balloon	Specially designed to provide a constant back pressure to the dry ice machine and to smooth the CO_2 flow to the compressor while preheating the CO_2 revert gas.
CO_2 Recompressor	A two-stage, intercooled, dry running CO_2 recompressor compresses the revert gas up to approx. 18 bar.
CO_2 Liquefier	Liquefies the compressed CO_2 gas through a standard refrigeration loop. The re-liquefied CO_2 is then returned to the liquid CO_2 storage tank. An incorporated CO_2 condenser makes unsightly overhead condensers obsolete.
Control System	A centralised (stainless steel) control panel automatically controls the entire process and houses the electric motor distribution and starting.

Technical Specifications:

Model	Dry Ice output	Revert CO_2 gas	kW	Water	
RRS300*	200 kg/hr	300 kg/hr	70	290 l/min	Lager sizes available on request
RRS440*	330 kg/hr	455 kg/hr	80	336 l/min	
RRS560	370 kg/hr	560 kg/hr	111	383 l/min	

* available also with air cooling

APÉNDICE G3

Especificaciones de un tanque de almacenamiento para CO_2 de 3 toneladas de capacidad [26].

Tabla 1. Especificaciones de un tanque de almacenamiento de CO_2 de 3Ton fabricado por UIG (Universal Industrial Gases, Inc.)

Model	$3TCO_2$
Water volumen @ 100 % Gall (Lt):	872 (3300)
Cold Volume @ 90%Gall (Lt):	@ 90% 785 (2970)
Product Weight Lb(Kg):	6646 (3015)
MAWP Psig (Kg/cm2):	350 (24.6)
Product:	CO2
Empty Weight Lb (Kg):	7492 (3398)
Maximum Width in (m):	82.75 (2.10)
Height: in (m):	130.25 (3.3)
Evaporation rate (Less than %):	0.1
Refrigeration Unit: (Optional)	1 HP
Desing & Manufacturing codes:	
ASME Section VIII Division 1, Last Edition, Last Addenda Stamped "U-1"	
Inner vessel: CGA-341 Last Edition	
Materials:	
1. Inner vessel:	SA-612N Carbon SteelModel:3 TCO2 to 6 TCO2 Ellipsoidal Heads SA-612N8 TCO2 to 50 TCO2 Hemispherical heads SA-612NRT-2 Spots Radiographic Stamped ASME
2. Manway	SA-516-70 / SA-106-B16" Diameter, With external access
3. Inner piping:	SA-312-304 Stainless Steel
4. Insulation:	Perlite / Full vacuum
5. Internal supports:	SA-240-304 Stainless Steel
6. Outer jacket:	SA-36 / SA-285-C Carbon Steel
7. Outer jacket pads:	SA-36 CS / SA-240-304 SS
8. Lifting lugs	SA-36 (The unit shall be lifted empty)
9. Names plates	ASME nameplate "original" welding attached inner vessel ASME nameplate "Duplicate" attached to outer jacket
10. External piping	*Ball Valves (Brass)*Piping Material: Stainless Steel 304.*CGA Connection for CO2 service*Aluminum Identification plates for valves.*Safety system: 2 Safety Valves set at MAWP
11. Refrigeration unit: (optional)	(1 HP) Copeland FJAL-A101-CAV-011 (18.375" x 24") Compressor: Copeland RS80CIE-CAV-101(2 HP) Copeland FJAL-A200-CFV-001Compresor: Copeland CS14KGE-PFV-273For 1 & 2 HP low pressure 174 psig / high pressure 500 psig/208-230 VAC.
11. Pressure build coil (optional)	Material: SB-221-6063-T5 /MAWP: 350 psig
12. Painting:	Primer: 25P Dupont, 3 Mils DFT gray Finishing: Imron 326 Dupont white color standard, 3 Mils DFT.
13. Testing standard:	Inner vessel pressure test according to ASME code.· Inner & Outer jacket helium leak test.· Warm vacuum retention test, 72 Hrs.· Ner test of 1st unit of every series· Cold Shock test.· Operation test

APÉNDICE G4

Hoja técnica de LOGO.

TECHNICAL DATA SHEET LOGO! DM8 230R/DM16 230R

Digital modules	LOGO! DM8 230R DM16 230R
Inputs	4/8
Input/supply voltage	115/240 V AC/DC
Permitted range	85 ... 265 V AC, 100 ... 253 V DC
with signal "0" with signal "1"	max. 40 V AC min. 79 V AC
Input current	0.08 mA
Outputs	4/8 relays
Continuous current Ith (per terminal)	5 A with resistive load; 3 A with inductive load
Short-circuit protection	External fuse required
Switching frequency	2 Hz with resistive load; 0.5 Hz with inductive load
Power loss	1.1 ... 3.5 W (115 V AC) ... 4.5** 2.4 ... 4.8 W (240 V AC) ... 5.5** 0.5 ... 1.8 W (115 V DC) ... 2.9** 1.2 ... 2.4 W (240 V DC) ... 4.8**
Dimensions (W x H x D)	36 (2 MW) x 90 x 53 mm 72 (4 MW) x 90 x 53 mm

APENDICE G5

Especificaciones de aislamientos térmicos [9].

Table 7.13 Apparent Mean Thermal Conductivity of Some Selected Foams

Foam	Density (g/cm^3)	Boundary temperature (K)	Test space pressure	Conductivity [$\mu W/cm\ K$)]
Polystyrene	0.039	300,77	1 atm	330
	0.046	300,77	1 atm	260
	0.046	77,20	10^{-5} mm Hg	81
Epoxy resin	0.080	300,77	1 atm	330
	0.080	300,77	10^{-2} mm Hg	168
	0.080	300,77	4×10^{-3} mm Hg	130
Polyurethane	0.08–0.14	300,77	1 atm	330
			10^{-3} mm Hg	120
Rubber	0.08	300,77	1 atm	360
Silica	0.16	300,77	1 atm	550
Glass	0.14	300,77	1 atm	350

2010 ASHRAE Handbook—Refrigeration (SI)

Table 11 Extruded Polystyrene (XPS) Foam Insulation Thickness for Indoor Design Conditions
(32°C Ambient Temperature, 80% Relative Humidity, 0.9 Emittance, 0 km/h Wind Velocity)

Nominal Pipe Size, mm	Pipe Operating Temperature, °C							
	+5	–7	–20	–30	–40	–50	–60	–70
15	25	40	40	50	50	50	65	65
20	40	40	40	50	50	65	65	65
25	40	40	40	50	50	65	65	65
40	40	40	50	50	50	65	65	65
50	40	40	50	50	65	65	65	75
65	40	40	50	50	65	65	65	75
75	40	50	50	65	65	75	75	90
100	40	50	50	65	75	75	75	90
125	40	50	65	65	75	75	90	90
150	40	50	65	65	75	90	90	90
200	40	50	65	65	75	90	90	100
250	40	50	65	75	75	90	100	100
300	40	50	65	75	90	90	100	100

APÉNDICE H

ANALISIS ESTÁTICO DE LA ESTRUCTURA

ANALISIS ESTÁTICO DE LA ESTRUCTURA

Las sujeciones del modelo se muestran en la Figura 1, en verde y la presión de 49 MPa en rojo.

Las reacciones del conjunto se muestran en la figura 1.

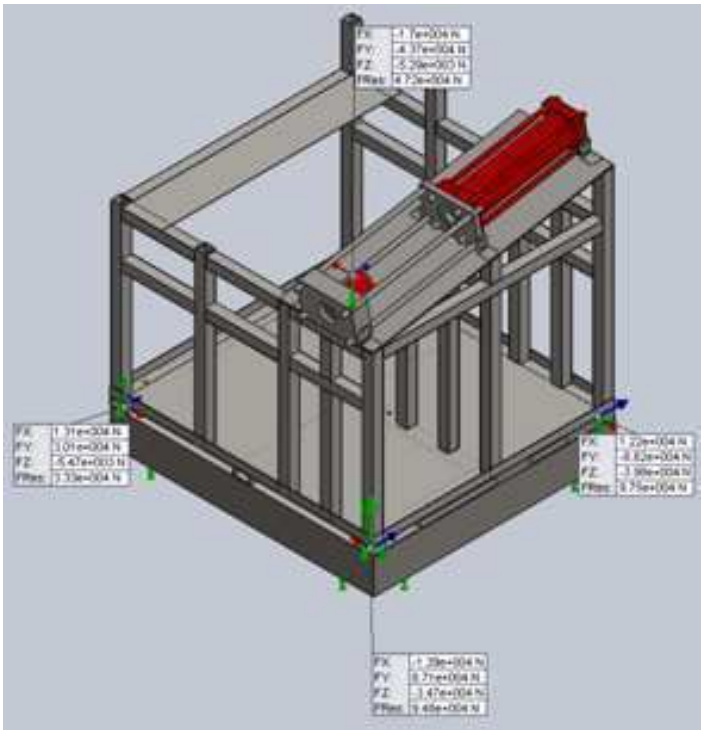


Figura 1. Representación de las reacciones del conjunto.

La Figura 2 muestra la variación del esfuerzo de von Mises en todo el conjunto.

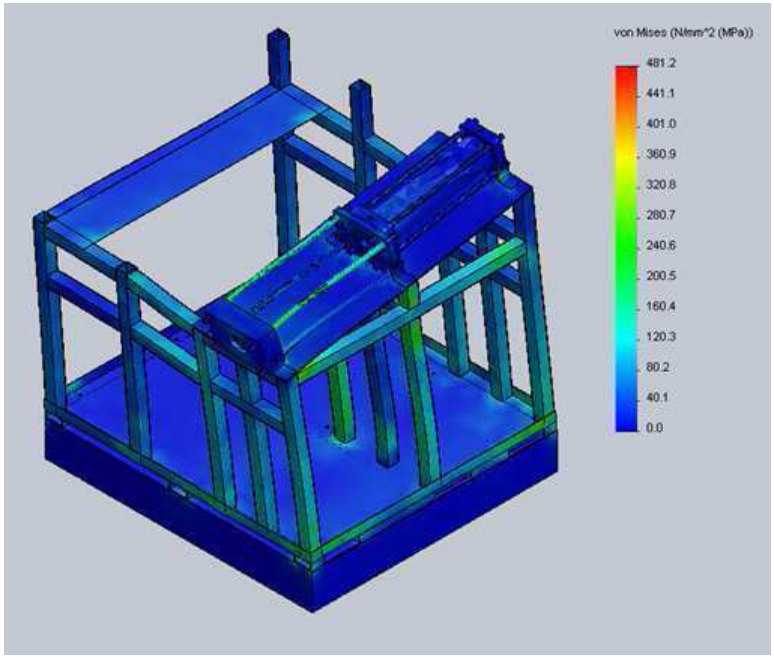


Figura 2. Representación de la variación del esfuerzo de von Mises con una escala de deformación de 33402x.

En la Figura 3 se muestra la distribución del factor de seguridad, siendo este bastidor una zona crítica. El factor de seguridad mínimo es 8.07; este es un factor de seguridad confiable, por lo que se concluye que este bastidor si va a resistir.

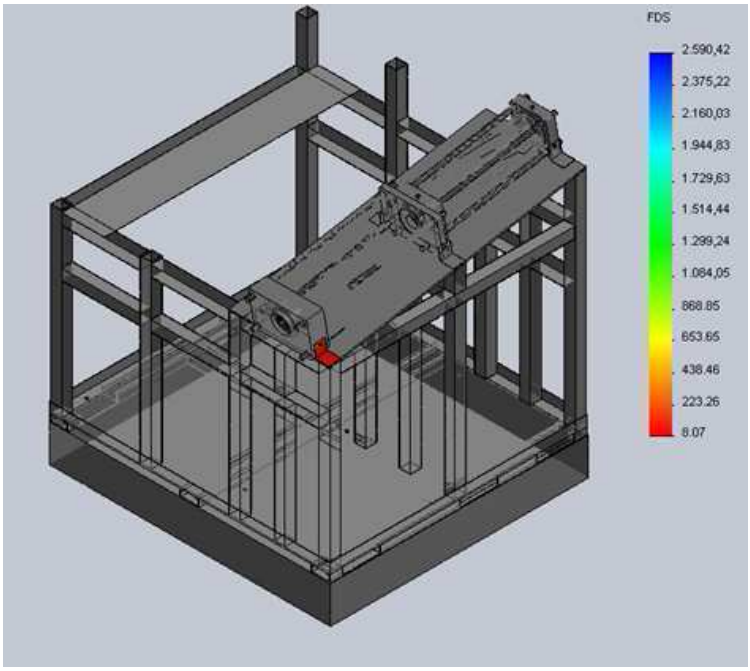


Figura 3. Distribución del factor de seguridad en el bastidor.

En la Figura 4 se nota que el factor de seguridad mínimo es menor que el de la Fig. 3, pero la distribución no es tan uniforme como es el caso de la Fig. 4. Este elemento tiene zonas con mayores factores de seguridad que la Fig. 3.

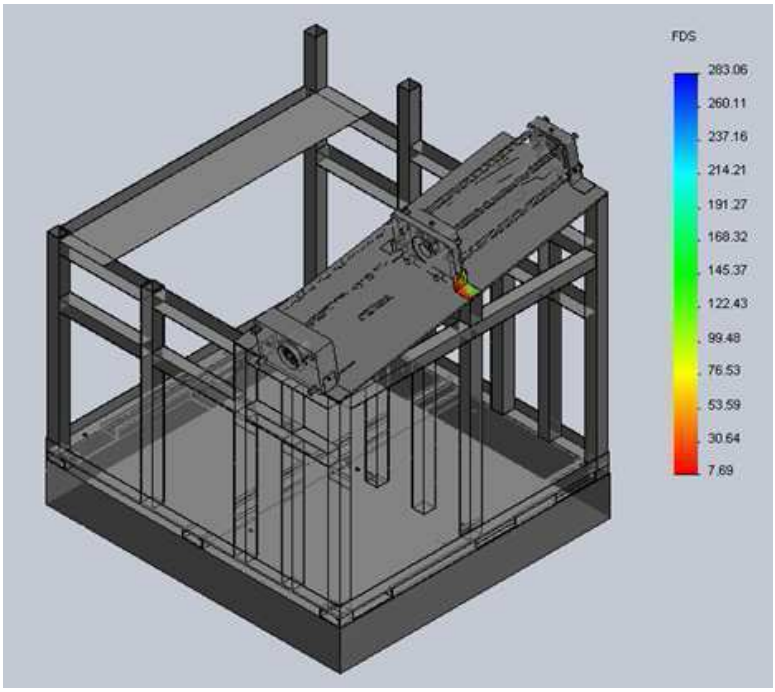


Figura 4. Distribución del factor de seguridad en el bastidor.

De igual manera el factor de seguridad mínimo en la Fig. 5 es menor que el de la Figura 3 y la Figura 4, pero la distribución tampoco es uniforme. Este elemento tiene zonas con factores de seguridad mayores que los de la Fig. 4 y Fig. 5.

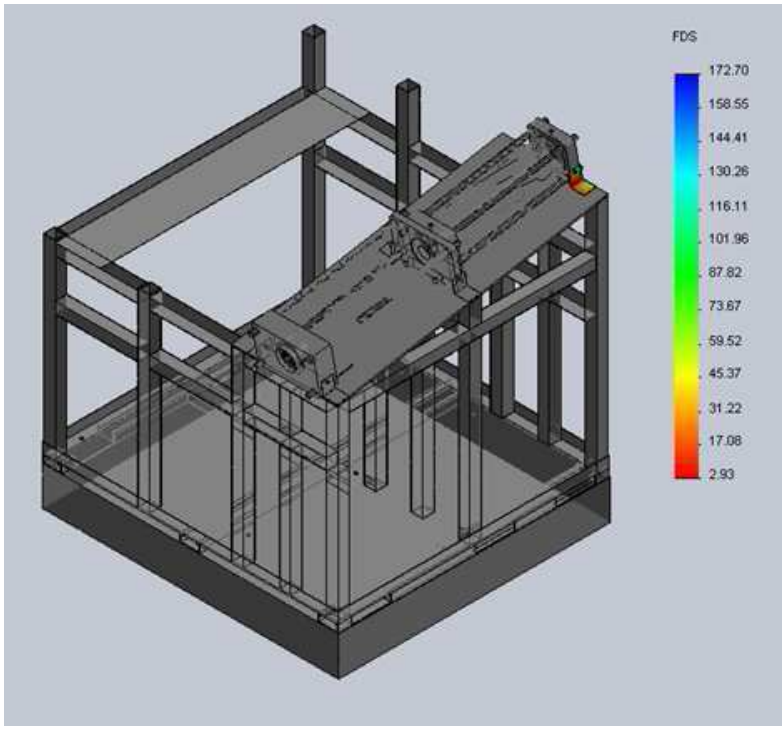
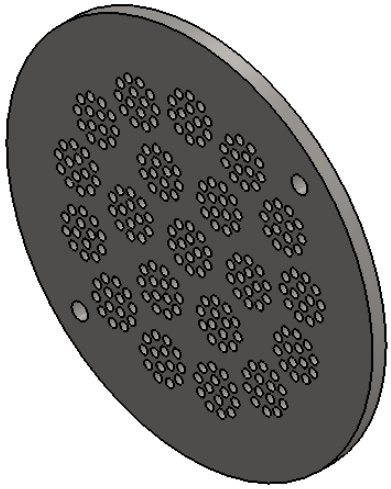
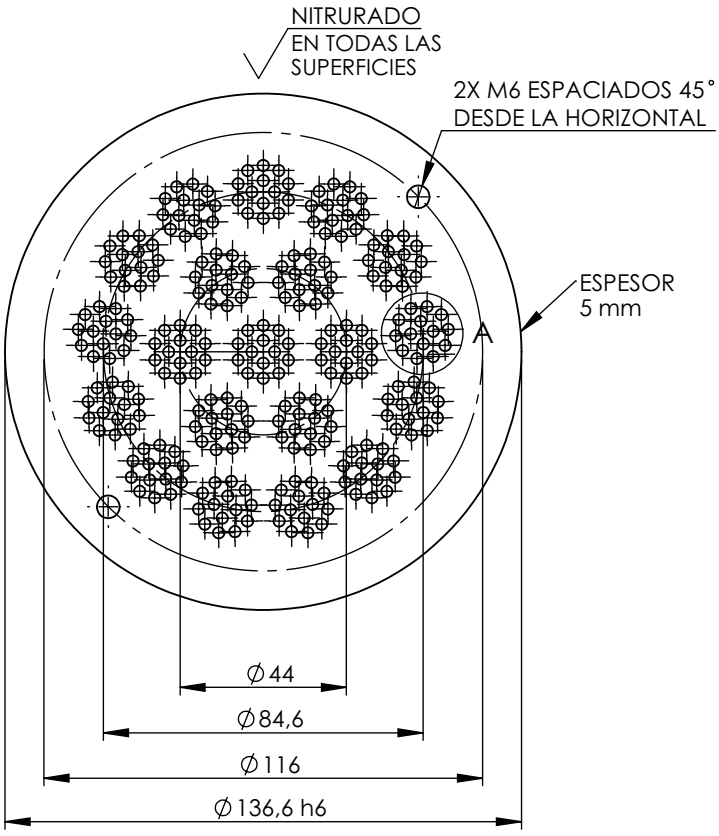
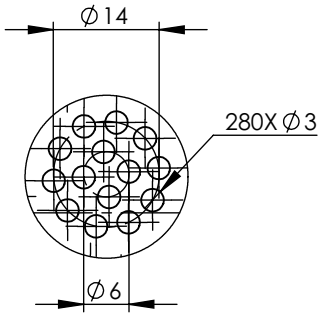


Figura 5. Distribución del factor de seguridad en el bastidor.

PLANOS







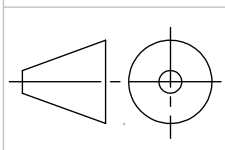
DETALLE A
ESCALA 1 : 1

FIMCP - ESPOL

	FECHA	NOMBRE
DIBUJADO		Jenner Moreira
REVISADO		Ing. Martinez
UNIDADES	mm	CANT:

PROYECTO: DISEÑO DE EQUIPO PARA PRODUCIR CO_2 PELLETIZADO DE ALTA DENSIDAD

PLANO No: 1

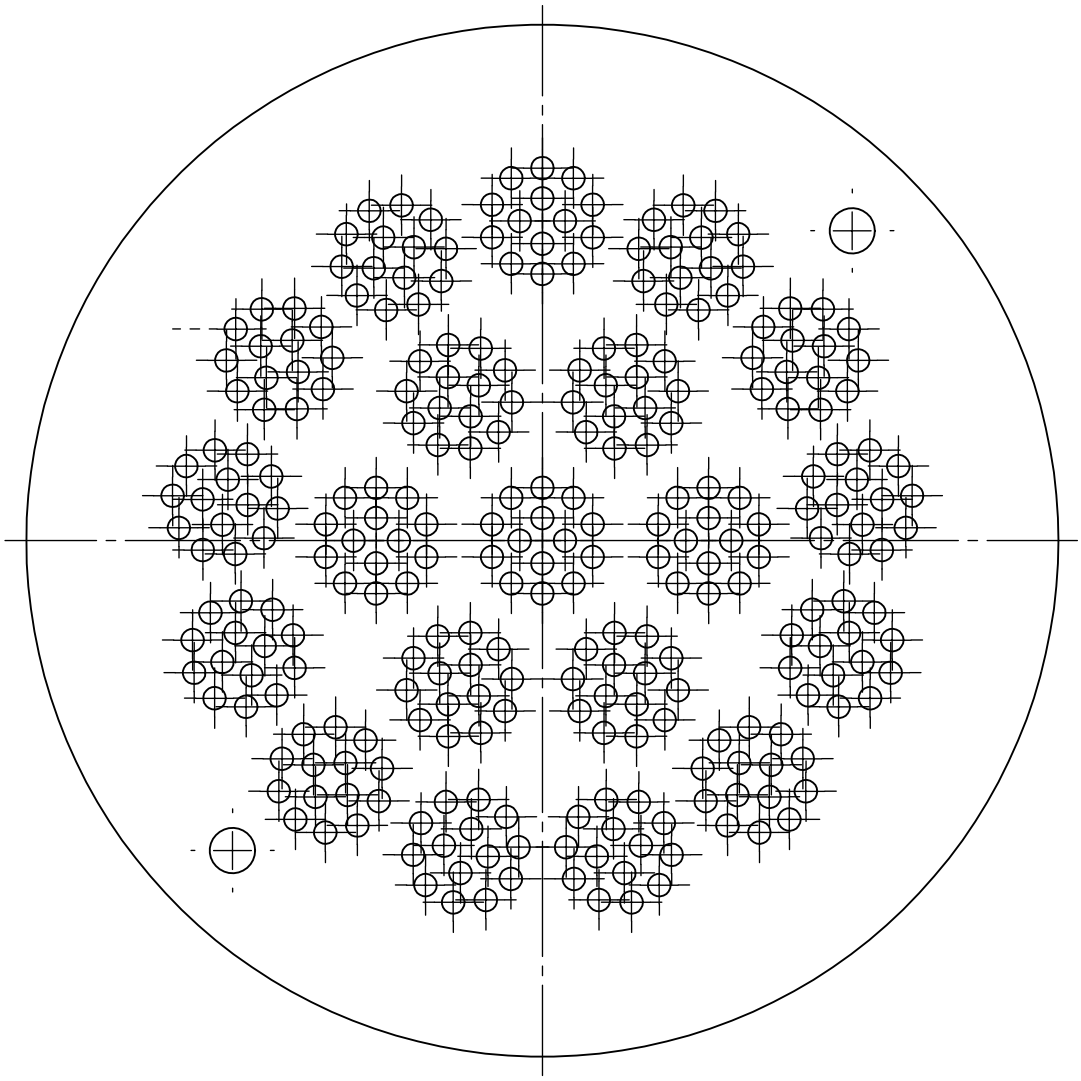


ESCALA: 1:2

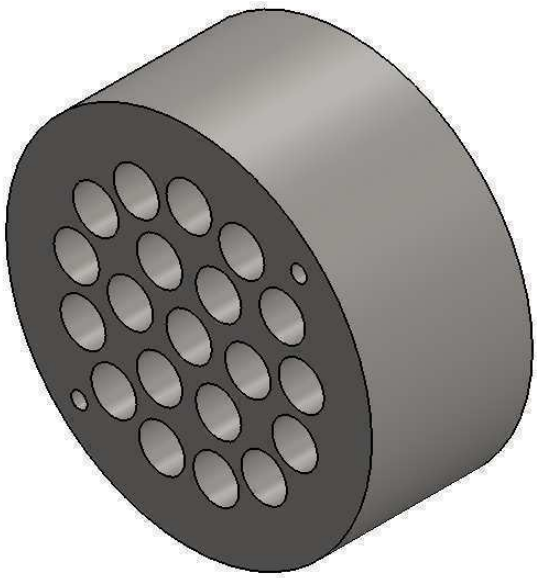
CONTIENE: MATRIZ PRIMARIA

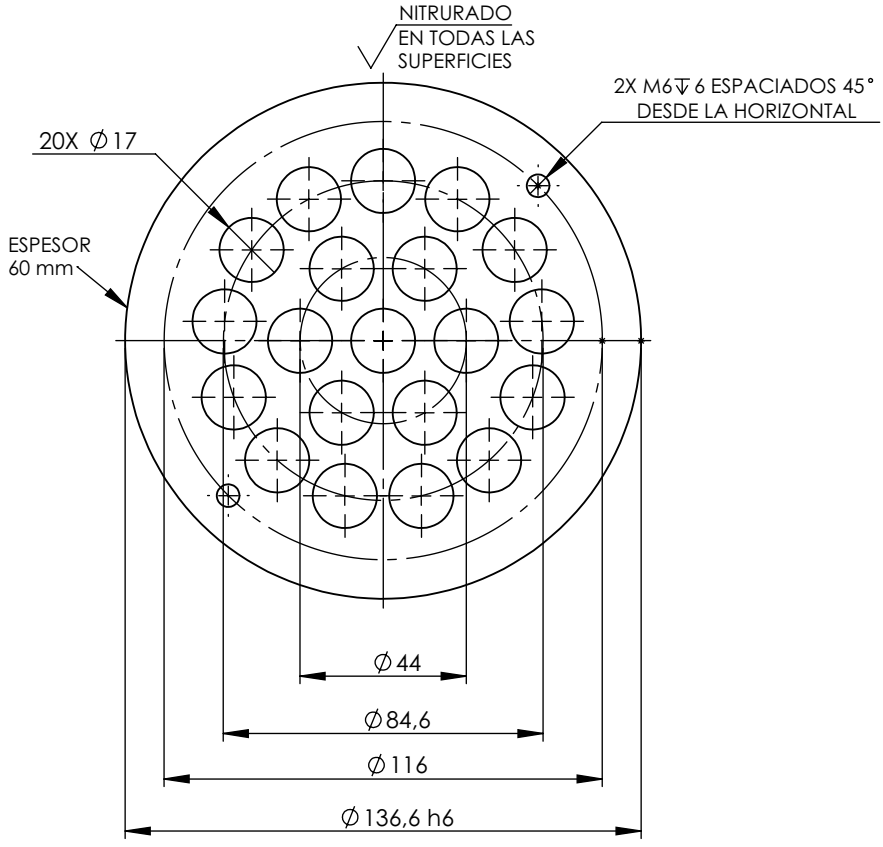
MATERIAL: DIN 1.2316 (X36CrMo17)

MASA (Kg): 0.49



FIMCP - ESPOL		DIBUJADO	Jenner Moreira
		REVISADO	Ing. Martinez
PROYECTO: DISEÑO DE EQUIPO PARA PRODUCIR CO_2 PELLETIZADO DE ALTA DENSIDAD		UNIDADES: mm	CANT:
		PLANO No:	2
ESCALA: 1:1	CONTIENE: MATRIZ PRIMARIA		
	MATERIAL: DIN 1.2316 (X36CrMo17)	MASA (Kg)	0.49





FIMCP - ESPOL

	FECHA	NOMBRE
DIBUJADO		Jenner Moreira
REVISADO		Ing. Martinez
UNIDADES	mm	

PROYECTO: DISEÑO DE EQUIPO PARA PRODUCIR CO_2 PELLETIZADO DE ALTA DENSIDAD

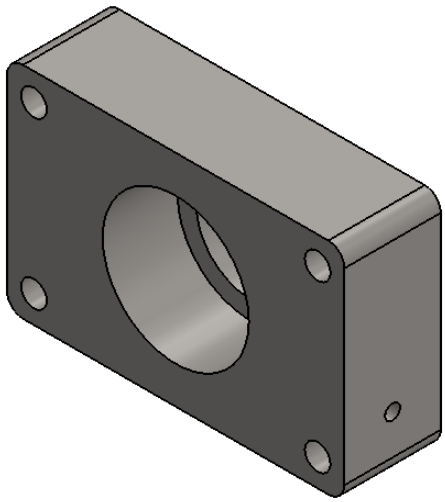
PLANO No: 3

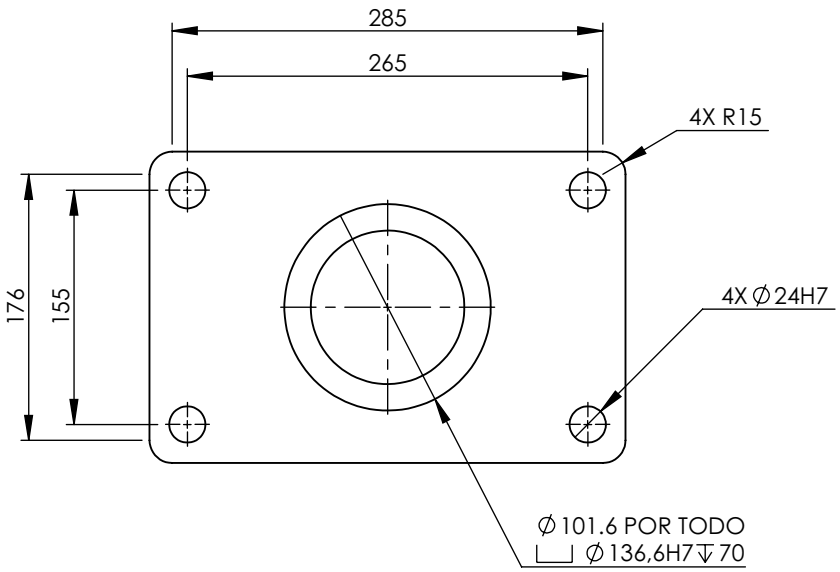
ESCALA: 1:2

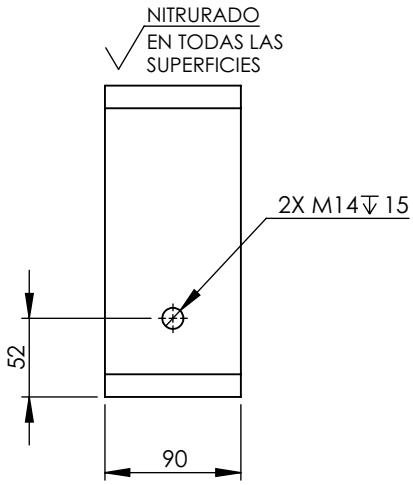
CONTIENE: MATRIZ SECUNDARIA

MATERIAL: DIN 1.2316 (X36CrMo17)

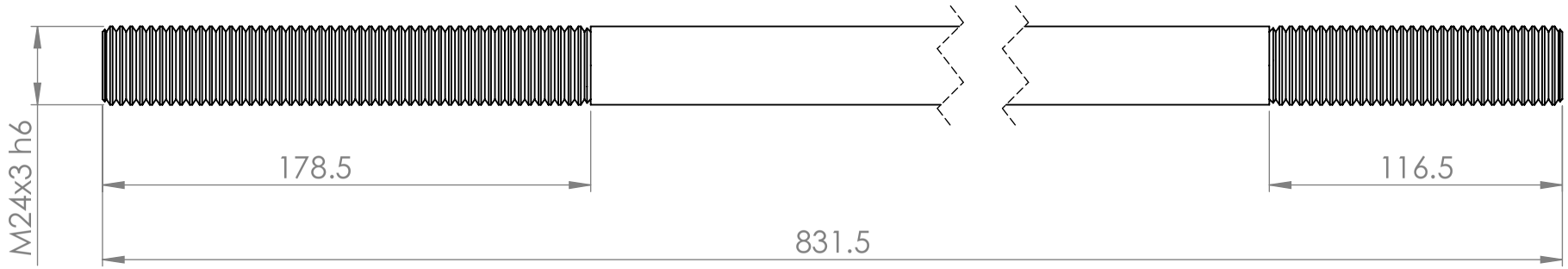
MASA (Kg): 4.73







FIMCP - ESPOL		DIBUJADO / REVISADO	FECHA / NOMBRE: Jenner Moreira / Ing. Martinez
PROYECTO: DISEÑO DE EQUIPO PARA PRODUCIR CO_2 PELLETIZADO DE ALTA DENSIDAD		UNIDADES: mm	CANT:
		PLANO No:	4
ESCALA: 1:5	CONTIENE: PLACA - SOPORTE	MATERIAL: DIN 1.2316 (X36CrMo17)	MASA (Kg): 34.84



FIMCP - ESPOL

PROYECTO: DISEÑO DE EQUIPO PARA PRODUCIR CO_2 PELLETIZADO DE ALTA DENSIDAD

	FECHA	NOMBRE
DIBUJADO		Jenner Moreira
REVISADO		Ing. Martinez
UNIDADES	mm	CANT: 4

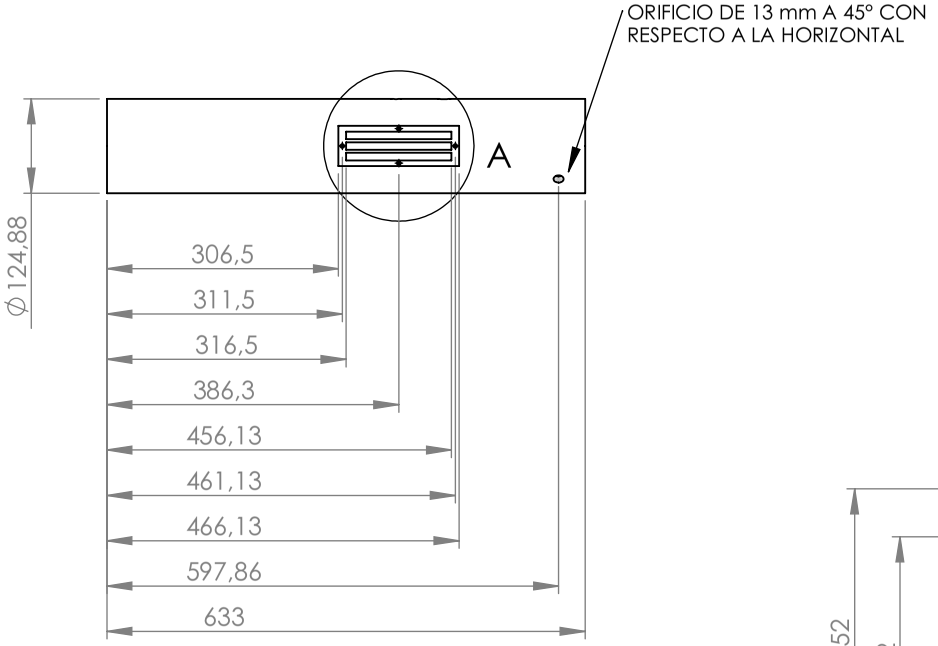
PLANO No: 5

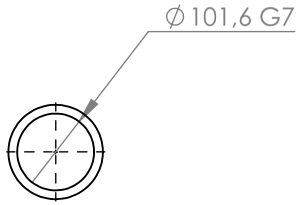
ESCALA: 1:2

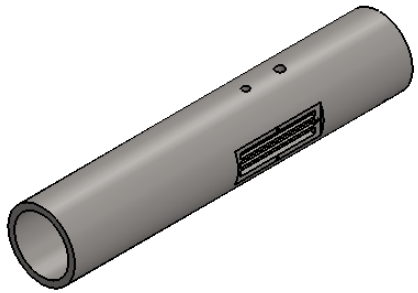
CONTIENE: TENSOR

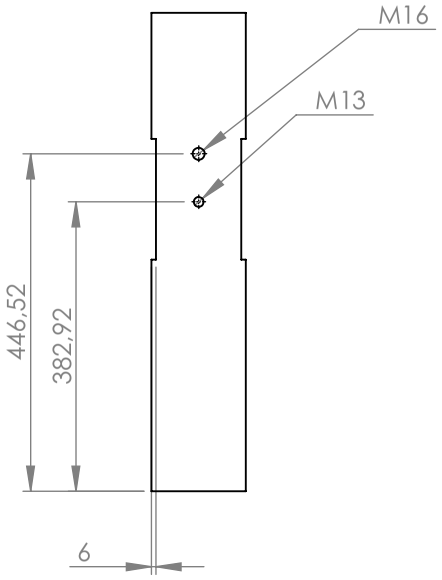
MATERIAL: AISI 304

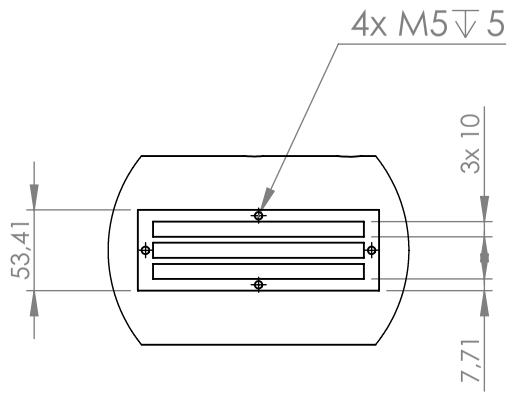
MASA (Kg): 2.16











DETALLE A
ESCALA 1 : 5

FIMCP - ESPOL

PROYECTO: DISEÑO DE EQUIPO PARA PRODUCIR CO_2 PELLETIZADO DE ALTA DENSIDAD

	FECHA	NOMBRE
DIBUJADO		Jenner Moreira
REVISADO		Ing. Martinez
UNIDADES	mm	CANT:

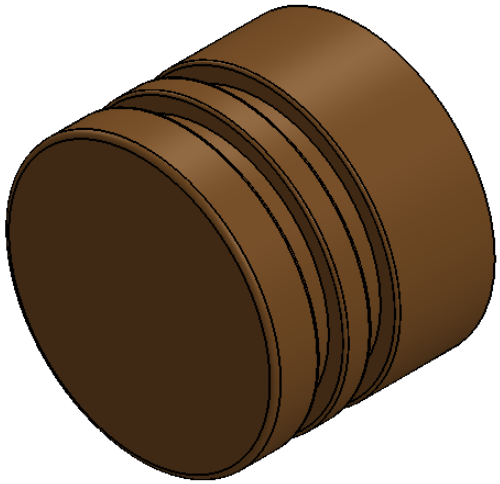
PLANO No: 6

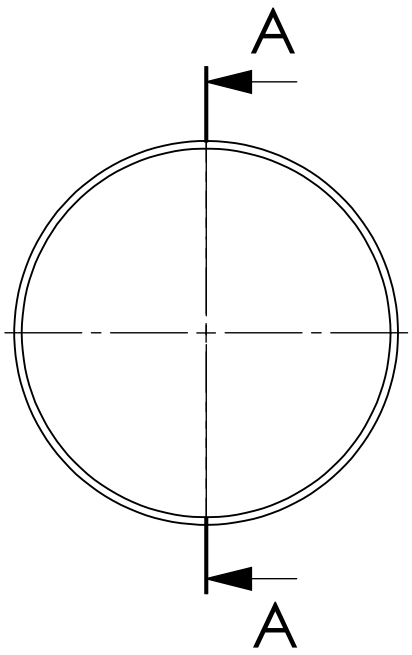
ESCALA: 1:10

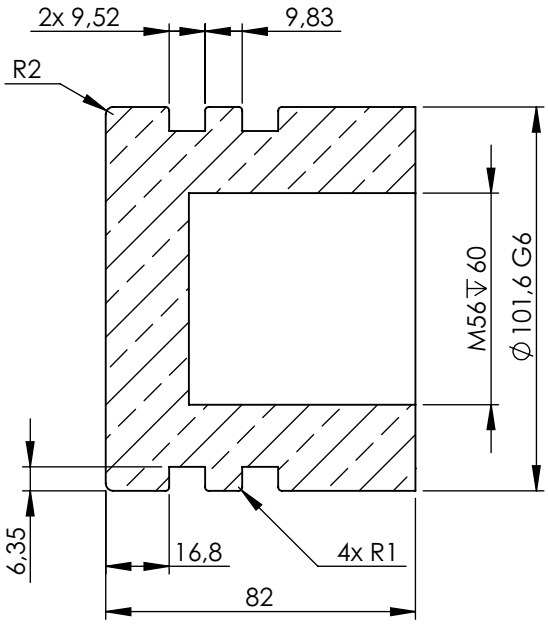
CONTIENE: CÁMARA DE FORMACIÓN

MATERIAL: 1.2316 (X36CrMo17)

MASA (Kg) 19.41

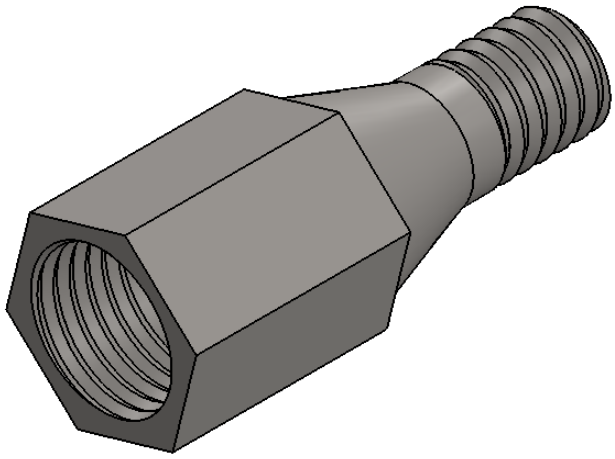




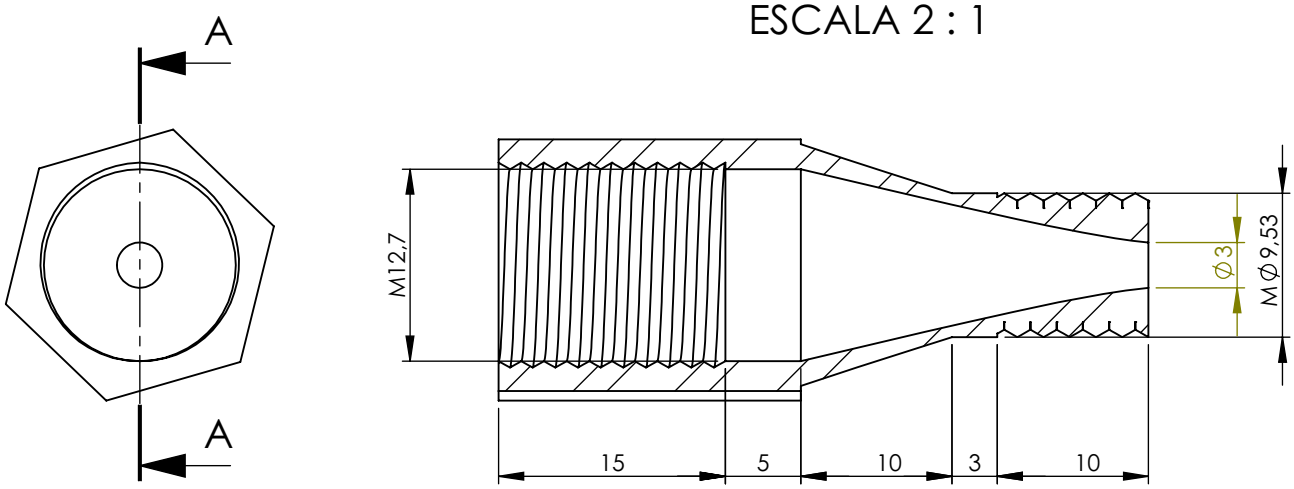


SECCIÓN A-A

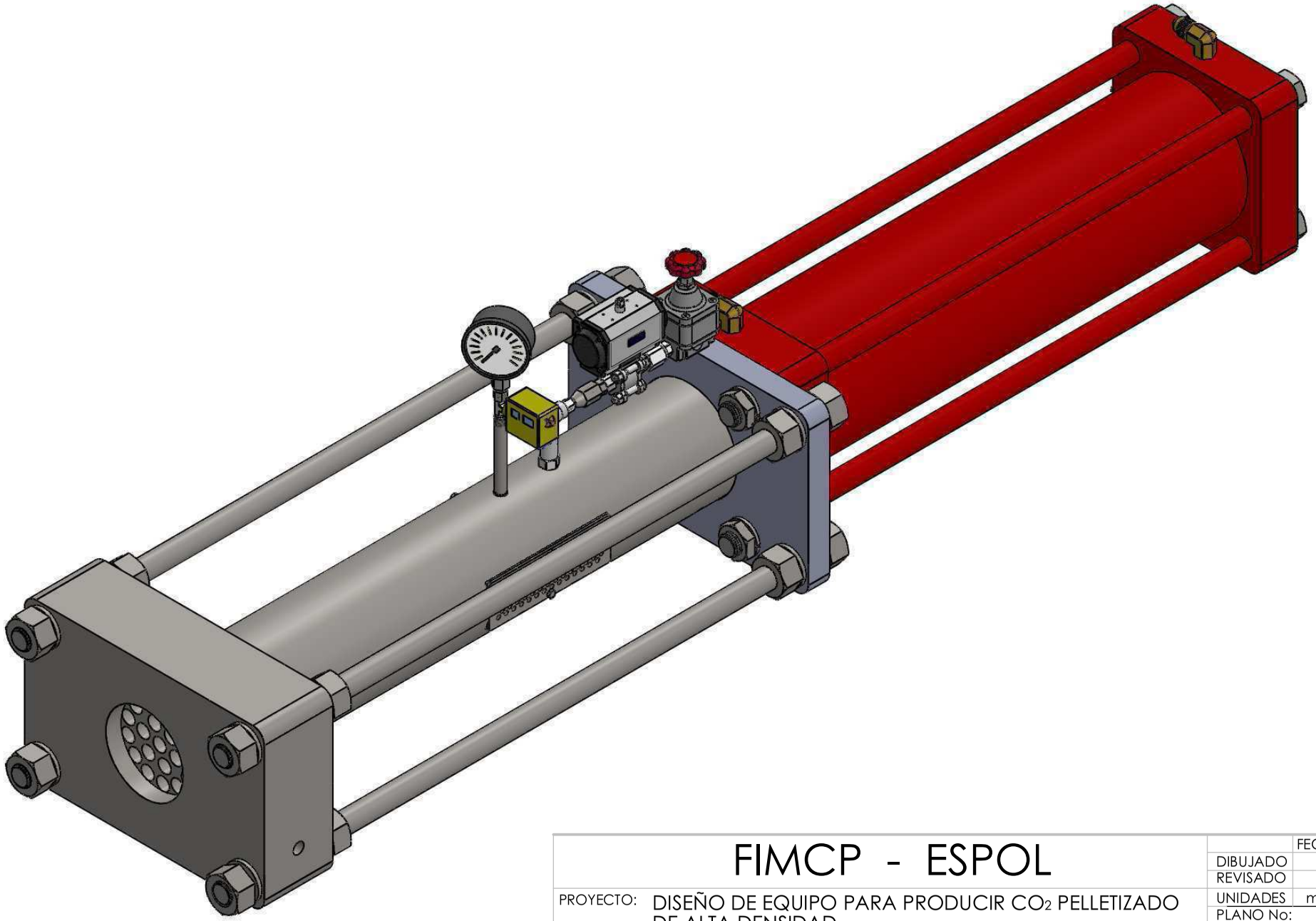
FIMCP - ESPOL			FECHA / NOMBRE
		DIBUJADO	Jenner Moreira
		REVISADO	Ing. Martinez
PROYECTO: DISEÑO DE EQUIPO PARA PRODUCIR CO_2 PELLETIZADO DE ALTA DENSIDAD		UNIDADES: mm	CANT:
		PLANO No:	7
ESCALA: 1:2	CONTIENE: CILINDRO DE COMPRESIÓN DE NIEVE CARBÓNICA		
	MATERIAL: BRONCE AL ALUMINIO	MASA (Kg)	3.51



SECCIÓN A-A
ESCALA 2 : 1



FIMCP - ESPOL			FECHA / NOMBRE
			DIBUJADO: Santiago Coello
			REVISADO: Ing. Martinez
PROYECTO: DISEÑO DE EQUIPO PARA PRODUCIR CO_2 PELLETIZADO DE ALTA DENSIDAD			UNIDADES: mm / CANT:
			PLANO No: 8
ESCALA: 2:1	CONTIENE: VÁLVULA EXTRANGULADORA DE CO_2		
	MATERIAL: AISI 304		MASA (g): 26.96



FIMCP - ESPOL

PROYECTO: DISEÑO DE EQUIPO PARA PRODUCIR CO_2 PELLETIZADO DE ALTA DENSIDAD

	FECHA	NOMBRE
DIBUJADO		Jenner Moreira
REVISADO		Ing. Martinez
UNIDADES	mm	CANT:

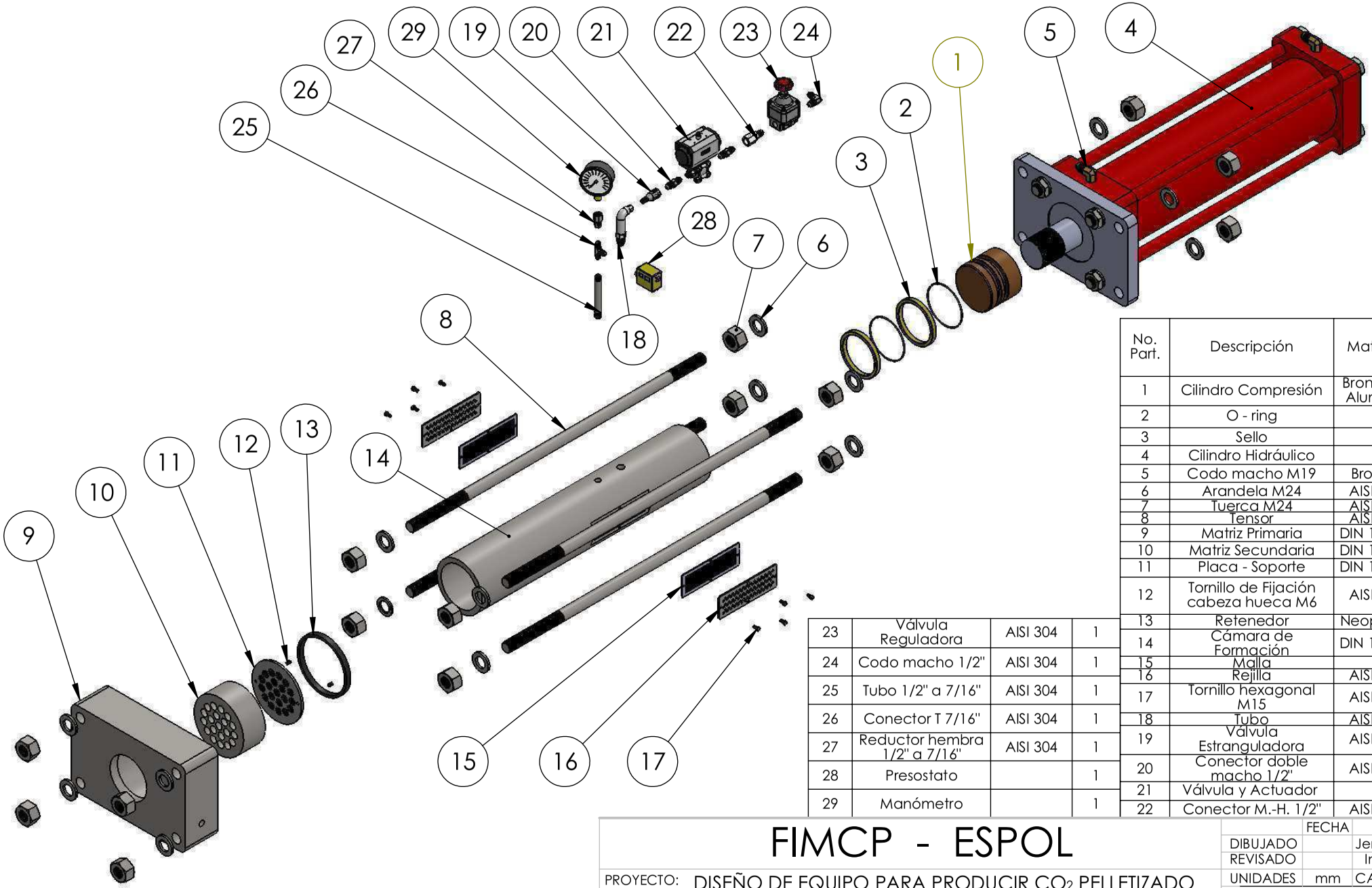
PLANO No: 9

ESCALA: 1:5

CONTIENE: SISTEMA ESTRUSOR

MATERIAL:

MASA (Kg)



No. Part.	Descripción	Material	Cant.
1	Cilindro Compresión	Bronce al Aluminio	1
2	O - ring		2
3	Sello		2
4	Cilindro Hidráulico		1
5	Codo macho M19	Bronce	2
6	Arandela M24	AISI 304	16
7	Tuerca M24	AISI 304	16
8	Tensor	AISI 304	4
9	Matriz Primaria	DIN 1.2316	1
10	Matriz Secundaria	DIN 1.2316	1
11	Placa - Soporte	DIN 1.2316	1
12	Tornillo de Fijación cabeza hueca M6	AISI 304	2
13	Retenedor	Neopreno	1
14	Cámara de Formación	DIN 1.2316	1
15	Malla		2
16	Rejilla	AISI 304	2
17	Tornillo hexagonal M15	AISI 304	8
18	Tubo	AISI 304	1
19	Válvula Estranguladora	AISI 304	1
20	Conector doble macho 1/2"	AISI 304	2
21	Válvula y Actuador		1
22	Conector M.-H. 1/2"	AISI 304	1
23	Válvula Reguladora	AISI 304	1
24	Codo macho 1/2"	AISI 304	1
25	Tubo 1/2" a 7/16"	AISI 304	1
26	Conector T 7/16"	AISI 304	1
27	Reductor hembra 1/2" a 7/16"	AISI 304	1
28	Presostato		1
29	Manómetro		1

FIMCP - ESPOL

	FECHA	NOMBRE
DIBUJADO		Jenner Moreira
REVISADO		Ing. Martinez
UNIDADES	mm	CANT:

PROYECTO: DISEÑO DE EQUIPO PARA PRODUCIR CO_2 PELLETIZADO DE ALTA DENSIDAD

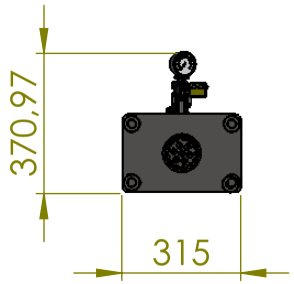
ESCALA: 1:10

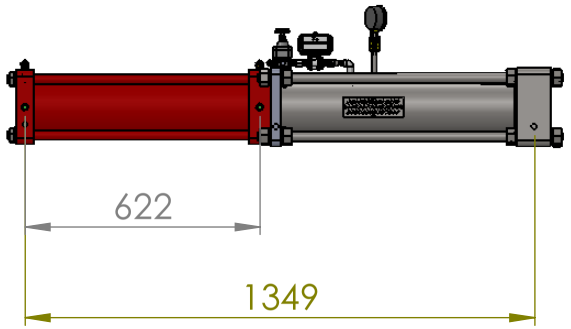
CONTIENE: DESPIECE SISTEMA EXTRUSOR

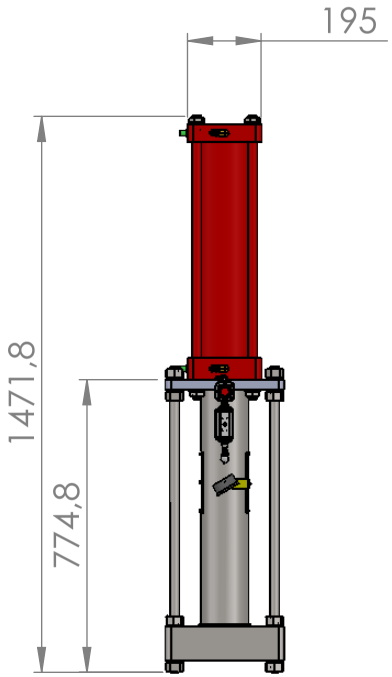
MATERIAL:

PLANO No: 10

MASA (Kg)







FIMCP - ESPOL

PROYECTO: DISEÑO DE EQUIPO PARA PRODUCIR CO_2 PELLETIZADO DE ALTA DENSIDAD

ESCALA: 1:20

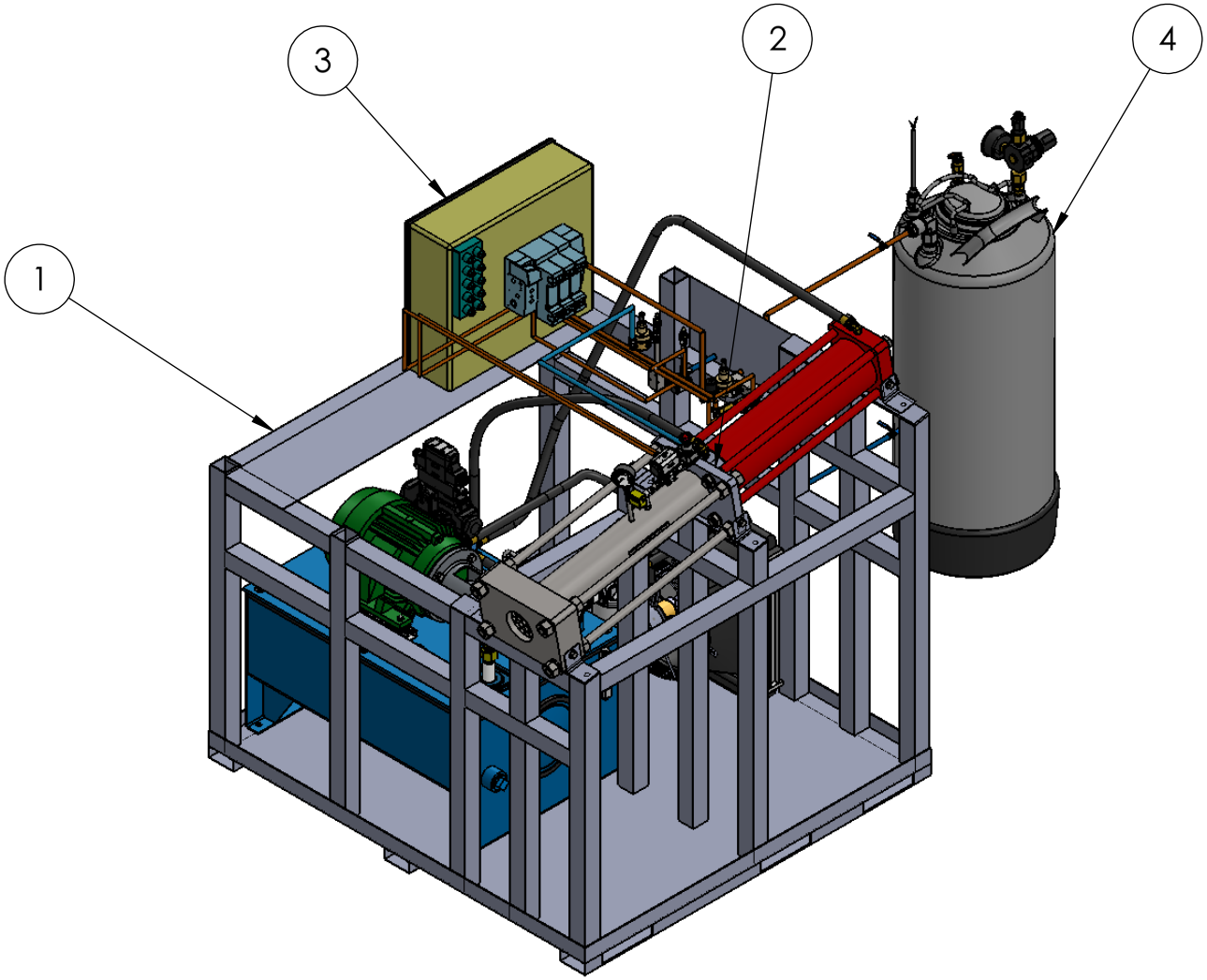
CONTIENE: VISTAS DEL SISTEMA EXTRUSOR

MATERIAL:

	FECHA	NOMBRE
DIBUJADO		Jenner Moreira
REVISADO		Ing. Martinez
UNIDADES	mm	CANT:

PLANO No: 11

MASA (Kg)



No. Parte	Descripción	Material	Cant.
1	Estructura	AISI 304	
2	Sistema Estrusor		
3	Panel de Control		
4	Tanque de Almacenamiento de CO_2		

FIMCP - ESPOL

		FECHA	NOMBRE
DIBUJADO			
REVISADO			Ing. Martinez
UNIDADES	mm	CANT:	

PROYECTO: DISEÑO DE EQUIPO PARA PRODUCIR CO_2 PELLETIZADO DE ALTA DENSIDAD

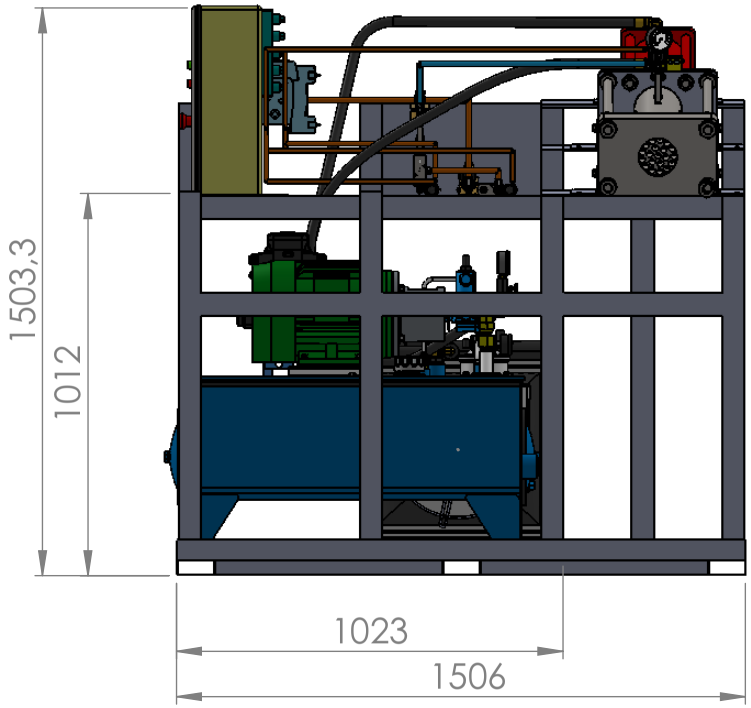
ESCALA: 1:20

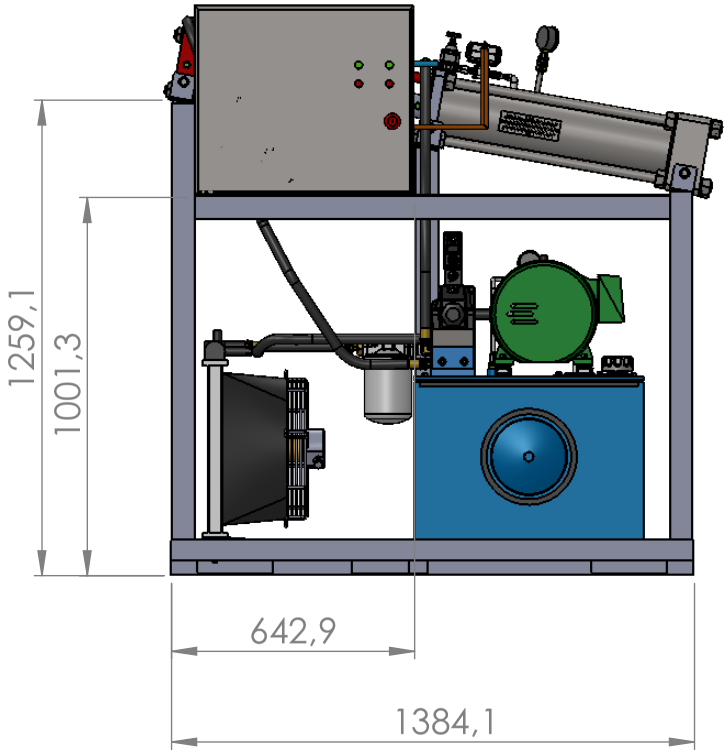
CONTIENE: EQUIPO PELLETIZADOR

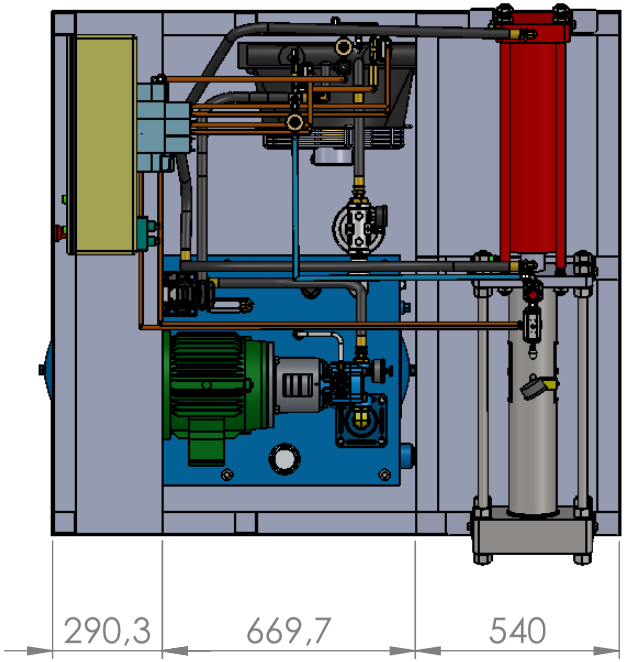
MATERIAL:

PLANO No: 12

MASA (Kg)







FIMCP - ESPOL

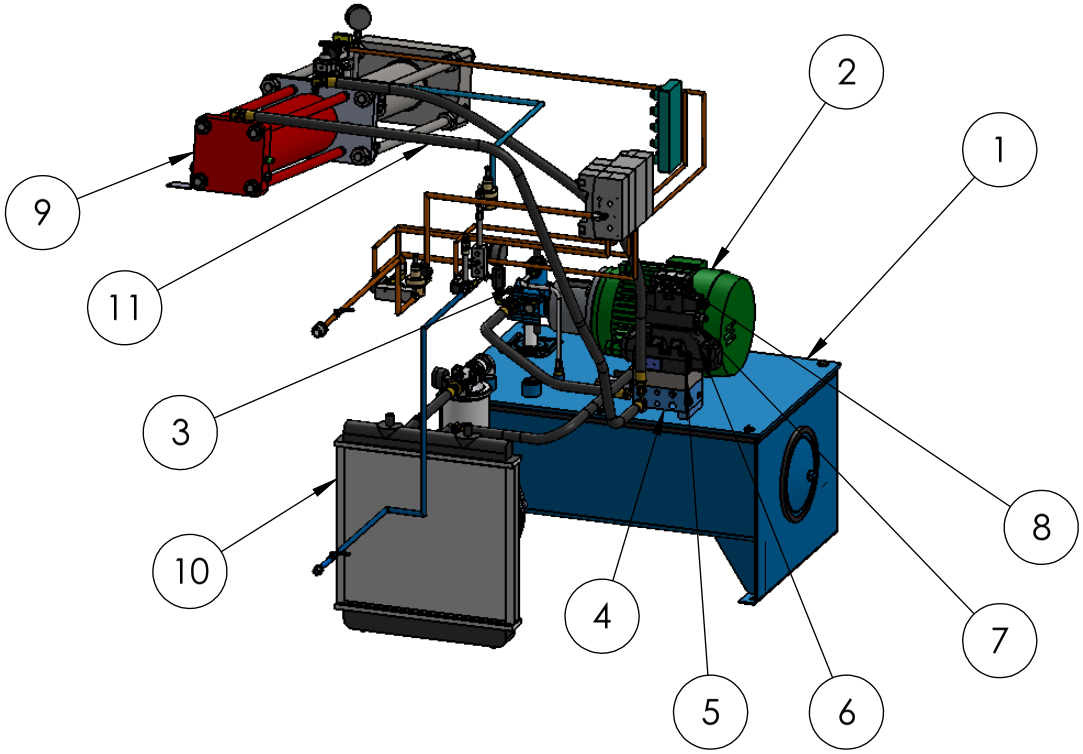
PROYECTO: DISEÑO DE EQUIPO PARA PRODUCIR CO_2 PELLETIZADO DE ALTA DENSIDAD

ESCALA: 1:10

CONTIENE: EQUIPO PELLETIZADOR SIN TANQUE DE ALMACENAMIENTO

MATERIAL:

	FECHA	NOMBRE
DIBUJADO		
REVISADO		Ing. Martinez
UNIDADES	mm	CANT:
PLANO No:		13
MASA (Kg)		



No. Parte	Descripción	Material	Cant.
1	Reservorio de acite hidráulico		1
2	Motor Eléctrico		1
3	Bomba Hidráulica		1
4	Bloque hidráulico		1
5	Válvula check		1
6	Válvula direccional hidráulica		1
7	Válvula reguladora de flujo		1
8	Electroválvula Hidráulica		1
9	Cilindro Hidtáulico		1
10	Sistema de enfriamiento de aceite		1
11	Manguera Hidráulica		6

FIMCP - ESPOL

	FECHA	NOMBRE
DIBUJADO		Jenner Moreira
REVISADO		Ing. Martinez
UNIDADES	mm	CANT:

PROYECTO: DISEÑO DE EQUIPO PARA PRODUCIR CO_2 PELLETIZADO DE ALTA DENSIDAD

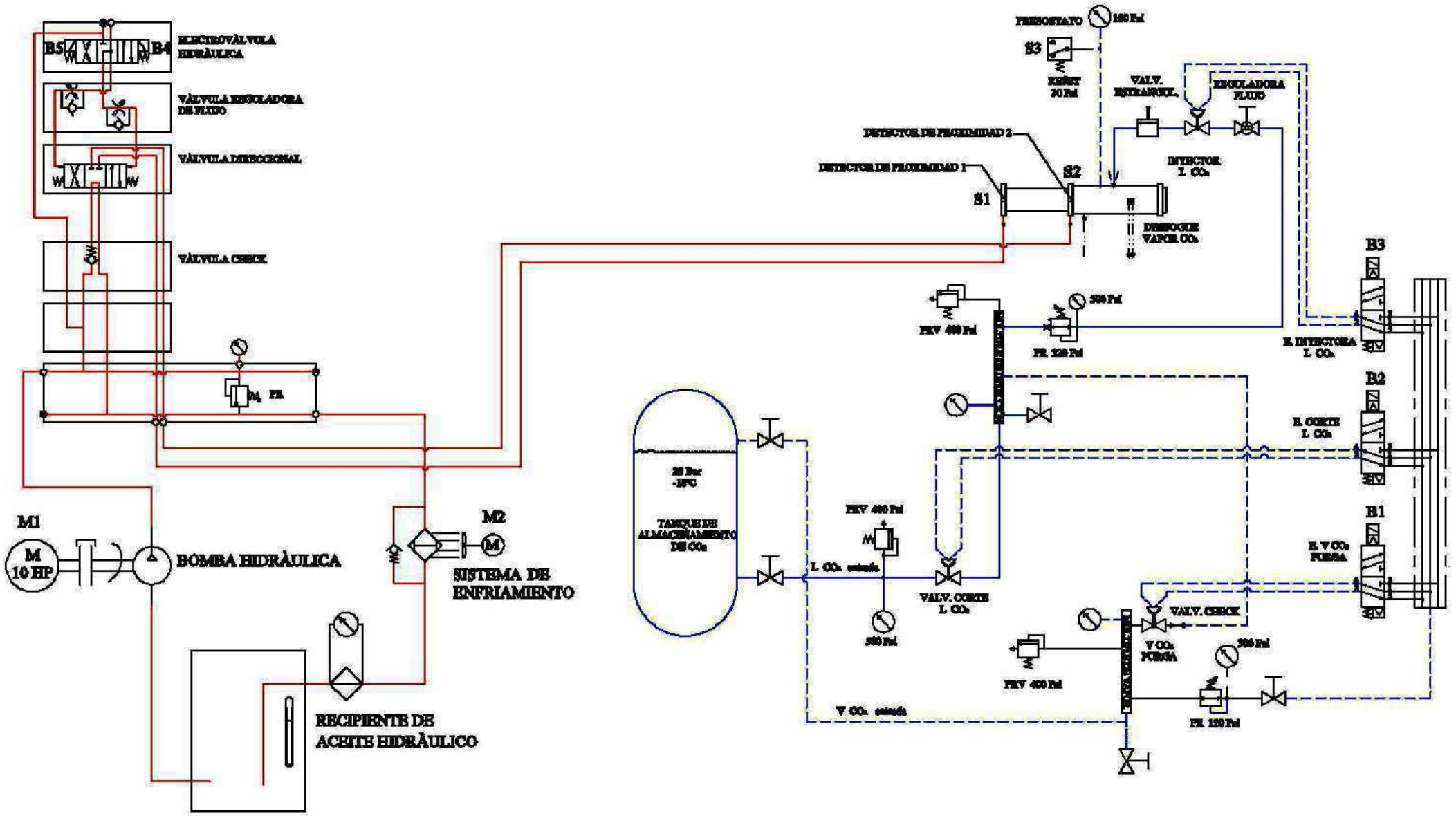
ESCALA: 1:20

CONTIENE: SISTEMA HIDRÁULICO

MATERIAL:

PLANO No: 14

MASA (Kg)



PRV: VÀLVULA DE ALIVIO DE PRESIÒN

L CO2: DIOXIDO DE CARBONO LÌQUIDO

PR: REGULADORA DE PRESIÒN

V CO2: VAPOR DE DIOXIDO DE CARBONO

VALV: VÁLVULA

E: ELECTROVALVULA

B: BOBINA

FIMCP - ESPOL

	FECHA	NOMBRE
DIBUJADO		Santiago Coello
REVISADO		Ing. Martinez
UNIDADES	mm	CANT: 4

PROYECTO: DISEÑO DE EQUIPO PARA PRODUCIR CO_2 PELLETIZADO DE ALTA DENSIDAD

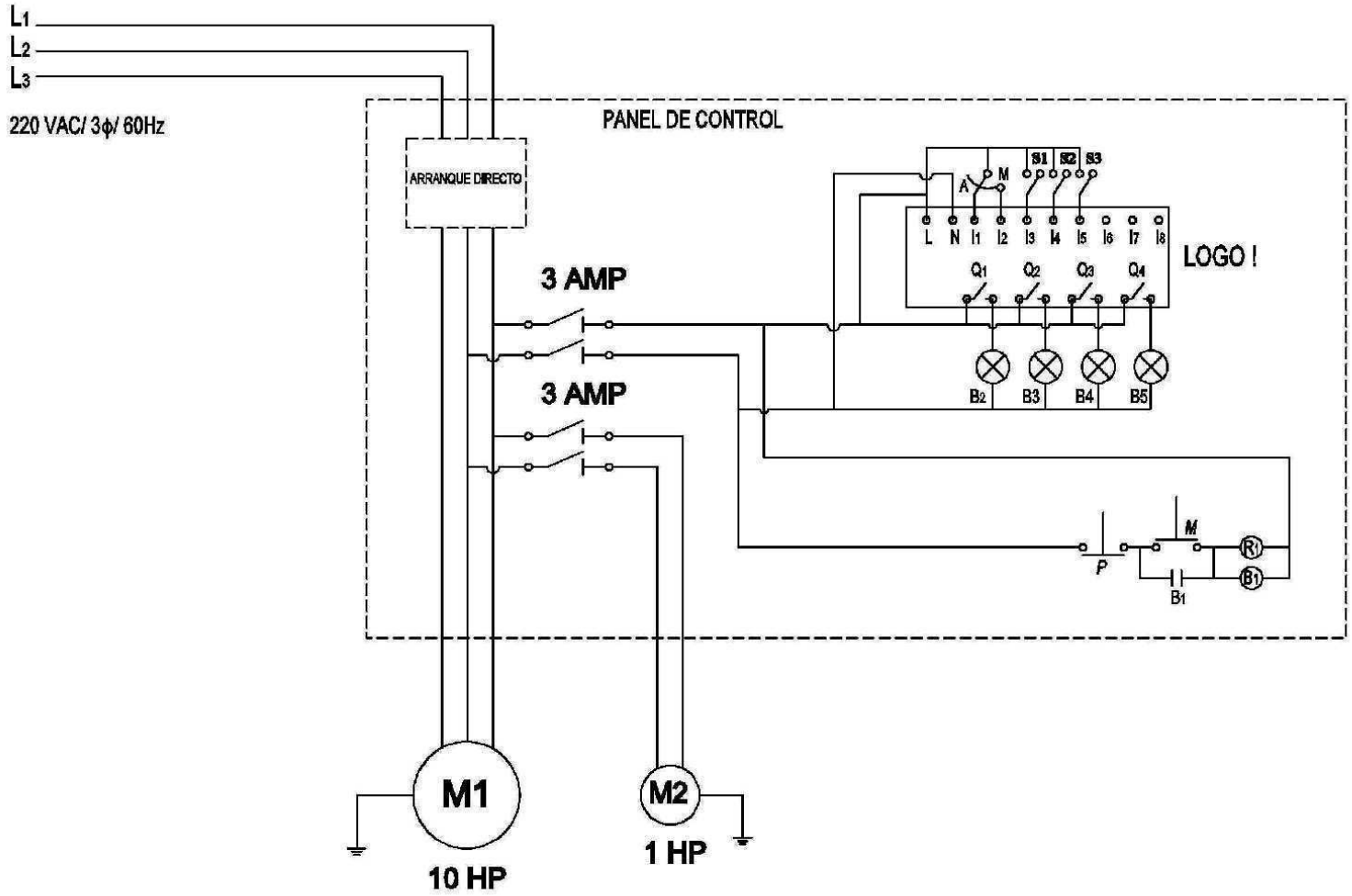
ESCALA:

CONTIENE: DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DEL EQUIPO

MATERIAL:

PLANO No: 15

MASA (Kg)



B: BOBINA
A: MANDO AUTOMÁTICO
M: MANDO MANUAL
***P*:** PARADA
***M*:** MARCHA

FIMCP - ESPOL

PROYECTO: DISEÑO DE EQUIPO PARA PRODUCIR CO_2 PELLETIZADO DE ALTA DENSIDAD

ESCALA:

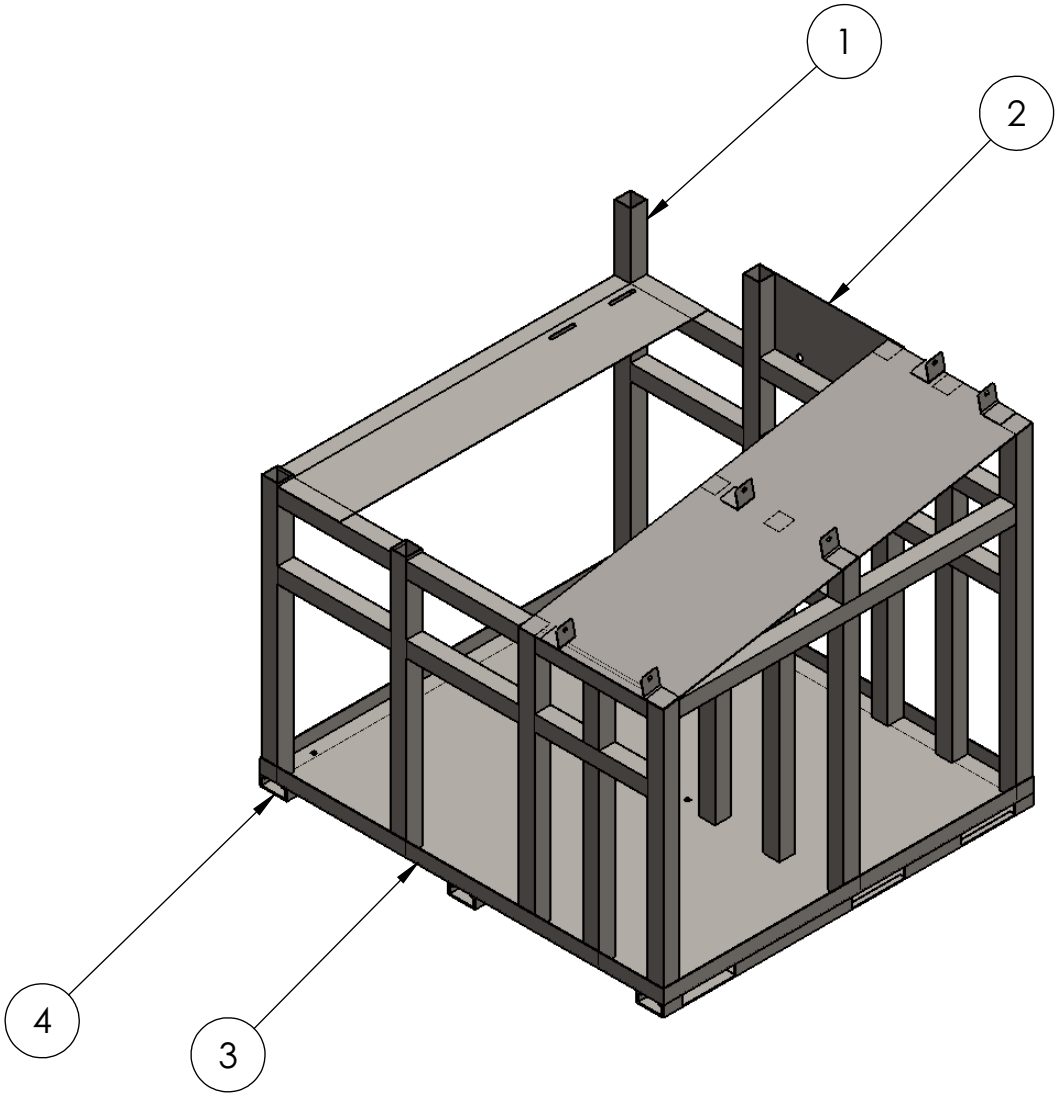
CONTIENE: DIAGRAMA ELÉCTRICO DEL EQUIPO

MATERIAL:

	FECHA	NOMBRE
DIBUJADO		Jenner Moreira
REVISADO		Ing. Bastidas
UNIDADES	mm	CANT: 4

PLANO No: 16

MASA (Kg)



No. Part.	Descripción	Material	Cant.
1	Tubo cuadrado 60x60x3 mm/6 m	ASTM A36	4
2	Plancha 2440x1220x2 mm	ASTM A36	2
3	Ángulo en L 50.8x50.8x3.2 mm/6 m	ASTM A36	1
4	Viga en G 100x50x4 mm/6 m	ASTM A36	1

FIMCP - ESPOL

	FECHA	NOMBRE
DIBUJADO		Jenner Moreira
REVISADO		Ing. Martinez
UNIDADES	mm	CANT:

PROYECTO: DISEÑO DE EQUIPO PARA PRODUCIR CO_2 PELLETIZADO DE ALTA DENSIDAD

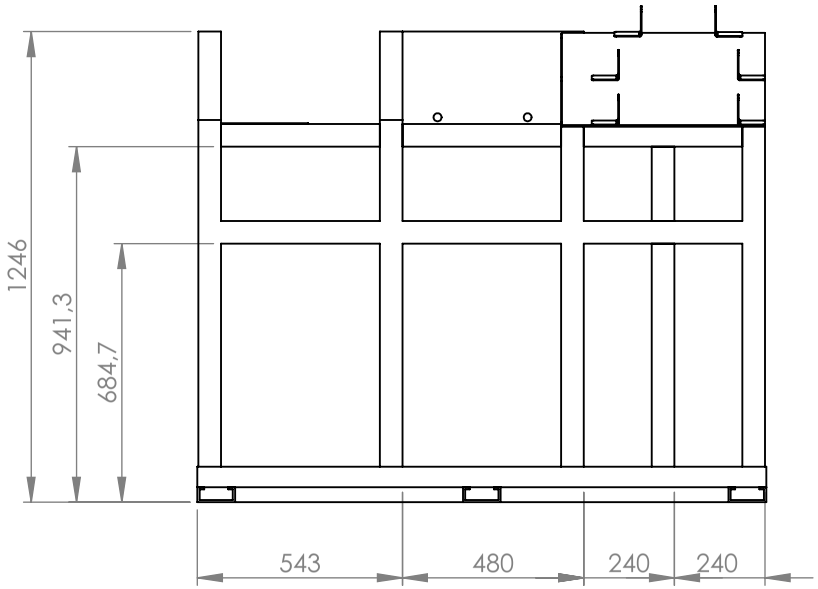
PLANO No: 17

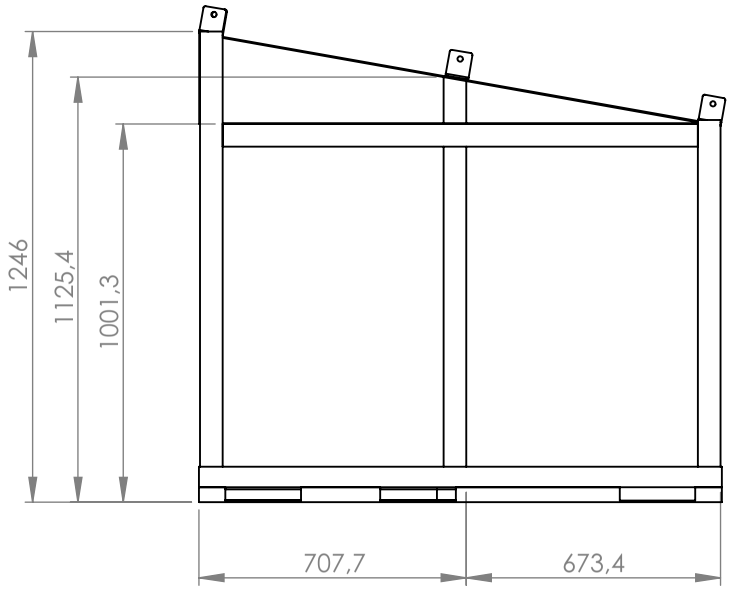
ESCALA: 1:20

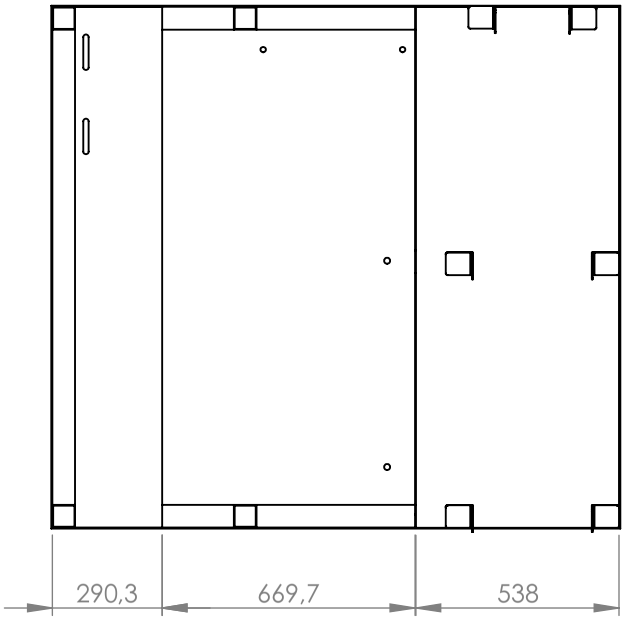
CONTIENE: ESTRUCTURA

MATERIAL: ASTM A36

MASA (Kg): 214.62







FIMCP - ESPOL

PROYECTO: DISEÑO DE EQUIPO PARA PRODUCIR CO_2 PELLETIZADO DE ALTA DENSIDAD

ESCALA: 1:20

CONTIENE: VISTAS DE ESTRUCTURA

MATERIAL: ASTM A36

	FECHA	NOMBRE
DIBUJADO		Jenner Moreira
REVISADO		Ing. Martinez
UNIDADES	mm	CANT:

PLANO No: 18

MASA (Kg): 214.62

BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

[1] Ley de Drogas vigente a la fecha. CONSEP. Consejo Nacional de Control de Sustancias Estupefacientes y Psicotrópicas.

[2] ASCO DE DIOXIDO DE CARBONO LTD. www.ascojet.com

[3] COLD JET www.coldjet.com

[4] www.dryiceproduction.com

[5] United State Energy Information Administration www.eia.gov

[6] Enciclopedia de gases Grupo Air Liquide. LINDE GROUP. www.encyclopedi.airliquide.com

[7] Industrial Gas Handbook. Gas Separation and Purification. Frank G. Kerry.

[8] Método y aparato para la producción automática de bloques de CO_2 sólidos a una baja presión. Oficina Española de Patentes y Marcas. Número de publicación 2130245.

[9] 2010 ASHRAE Handbook Refrigeration.

[10] Properties of Carbon Dioxide. Union Engineering. www.union.dk

[11] Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley. 8va. Edición. Richard G. Budynas y J. Keith Nisbetht.

[12] *NFPA 12: 1-9.1*

[13] Handbook Dioxide (CO_2) Fire Extinguishing System

[14] Manual de COLDJET Installation Guide P325

[15] Neumática, Hidráulica y Electricidad Aplicada. Jose Roldan Viloria. Thomson Paraninfo

[16] Criogenic Engineering. Segunda Edición. Thomas M. Flynn, CRYOCO, inc

[17] Manual del Ingeniero Mecánico. Novena Edición. Eugene A. Avallone. Theodore Baumeister III.

[18] Propiedades de los Materiales. www.matweb.com

[19] Industrial and Engineering Chemistry. Myron B. Golder.

[20] Programa en línea para el cálculo de propiedades del CO_2.

www.carbon-dioxide-properties.com/CO2TablesWeb.aspx

[21] Cálculo para la elaboración de hielo seco. ESPOCH. Escuela de Ingeniería Mecánica.

[22] Danfoss Industrial Refrigeration.

[23] Manual de Tratamientos Térmicos de Aceros Especiales BOHLER.

[24] THE LINDE GROUP. www.abello-linde-sa.es

[25] www.sellosteruel.com.ar

[26] Universal Industrial Gases. www.uigi.com