



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN

**“REDISEÑO Y ADAPTACIÓN DE
CÁMARAS PARA SÍNTESIS Y TRATAMIENTOS
TÉRMICOS DE MATERIALES”**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO**

P R E S E N T A:

MANUEL HERRERA LÓPEZ

ASESOR: DR. ELIGIO ALBERTO OROZCO MENDOZA



Ciudad Nezahualcóyotl, Estado de México, 2019



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTONOMA DE MEXICO

Instituto de Física

Laboratorio de Cristalofísica y Materiales
Naturales

Circuito de la Investigación Científica s/n, Ciudad Universitaria, Coyoacán
04510 México D.F. México

La tesis titulada *“Rediseño y Adaptación de Cámaras para Síntesis y Tratamientos Térmicos de Materiales”* fue realizada íntegramente en el Laboratorio de Cristalofísica y Materiales Naturales del Instituto de Física de la UNAM, bajo la dirección del Dr. Eligio Alberto Orozco Mendoza.

El proyecto de investigación asociado a esta tesis recibió el apoyo del proyecto PAPIIT IN100417 titulado: *“Siembra de nanopartículas de Fosfatos Naturales para Mejorar el Desempeño Mecánico de Pastas de Cemento con Agregados Pétreos”*.

Somos como enanos a los
hombros de gigantes. Podemos
ver más, y más lejos que ellos, no
por la agudeza de nuestra
vista, ni por la altura de nuestro
cuerpo, sino porque somos
levantados por su altura.

Bernardo de Chartres.

Dedicatorias

A mi MADRE, Mirna, por darme todo el apoyo y cariño incondicional durante todo el trayecto de mi formación académica, gracias por ser el pilar que da sostén a todo mi ser y por soportar todos mis altibajos. A mi PADRE Maximiliano, por enseñarme el camino del trabajo y el esfuerzo muy a su estilo, y por inculcarme los valores y el carácter que ahora rigen mi vida. A los dos, los llevo muy dentro de mi corazón y siempre en mis pensamientos, gracias a ustedes soy lo que soy.

A mi querida HERMANA Ema, que siempre ha sido mi fuente de inspiración y mi guía en el camino a seguir, gracias por todos los consejos y las palabras de aliento.

Agradecimientos

Al Dr. Eligio Orozco, por aceptarme e incorporarme al laboratorio de Cristalofísica del IFUNAM y por siempre brindarme el apoyo para continuar en mi formación.

A mis compañeros de cubo, Saul, Samanta, Ashanti, Bryan, por brindarme su confianza y amistad.

Al ingeniero Germain, por apoyarme y brindarme su ayuda siempre que lo necesite; eres una excelente persona.

Al técnico Ángel, y a la Ingeniero Eréndira, por apoyarme y brindarme una excelente amistad.

A mi *alma mater*, la UNAM, por brindarme todos los recursos y apoyos tanto académica como recreativamente, espero siempre honrar su legado y divulgar su grandeza.

Índice

	Página
Introducción	10
Capítulo 1	12
Procesos de calentamiento y fusión de materiales	12
1.1. Principales procesos de calentamiento y fusión de materiales	12
1.1.1. Hornos de combustión	12
1.1.2. Hornos eléctricos	13
1.2. Procesos particulares al caso	14
1.2.1. Inducción electromagnética	15
1.2.1.1. Parámetros y principios de funcionamiento	15
1.2.1.2. Ventajas y desventajas del proceso	21
1.2.1.3. Ejemplos de aplicaciones	21
1.2.2. Arco eléctrico	23
1.2.2.1. Proceso GTAW	27
1.2.2.2. Características y parámetros de operación	28
Capítulo 2	31
Proceso de diseño	31
2.1. Factores del diseño	32
2.1.1. Consideraciones económicas	34
2.1.2. Selección de elementos comerciales	34
2.1.3. Manejo de tamaños estándares	35
2.1.4. Utilización de tolerancias	35
2.1.5. Puntos de equilibrio	36
2.1.6. Estimaciones de costo	36

2.2. Ingeniería de diseño	37
2.3. Metodología para el proceso de rediseño y adaptación de las cámaras para tratamientos térmicos de materiales	45
Capítulo 3	47
Descripción del equipo disponible y detección de limitaciones y problemas de diseño	47
3.1. Calentamiento y fusión por inducción electromagnética	47
3.1.1. Sistema de inducción	47
3.1.2. Sistema de refrigeración	49
3.1.3. Cámara para inducción electromagnética	51
3.2. Fusión por arco eléctrico	57
CAPÍTULO 4	63
Cámara para fusión y calentamiento por medio de inducción electromagnética	63
4.1. Propuestas para modificaciones y adaptaciones	63
4.1.1. Mirilla para observación	64
4.1.2. Base de apoyo y sujeción	67
4.1.3. Puerta de acceso rápido	68
4.1.4. Pasamuros para alta frecuencia	70
4.1.5. Medidores de presión y temperatura	72
4.1.6. Entrada y salida de gases	76
4.1.7. Soporte para crisol	77
4.1.8. Válvula de seguridad para alta presión	78
4.2. Modelos digitales de prototipo final	81

CAPÍTULO 5	87
Cámara para fusión y calentamiento por arco eléctrico	87
5.1. Propuestas para modificaciones y adaptaciones	87
5.1.1. Mirilla de observación	87
5.1.2. Base aislante	90
5.1.3. Rediseño de electrodos y crisol	91
5.1.4. Reposicionamiento de pasamuros	93
5.1.5. Tapa de acceso rápido	94
5.1.6. Medidores de presión y temperatura	96
5.1.7. Entrada y salida de gases	98
5.1.8. Válvula de seguridad para alta presión	100
5.2. Modelos digitales de prototipo final	101
Capítulo 6	106
Análisis de prototipos	106
6.1. Criterio de Von Mises	106
6.2. Cámara para inducción electromagnética	109
6.3. Cámara para arco eléctrico	117
Conclusiones	122
Perspectivas	123
Referencias	124

Anexos	127
Anexo 1. Fuente de alimentación INFRA® modelo ALPHA TIG 252	127
Anexo 2. Mirillas LUMIGLAS®	130
Anexo 3. Tapas de acceso rápido	134
Anexo 4. Medidor de presión	136
Anexo 5. Electrodo de Tungsteno	137
Anexo 6. Sello C-4400	134

Introducción

Los procesos térmicos juegan un papel muy importante en la investigación científica y en el ámbito académico, debido a que con estos se puede tener un mejor panorama general de las propiedades de la materia, por ejemplo, cuando se tiene la necesidad de caracterizar algún material o cuando se requieren demostrar los procesos de carburización y nitruración en el área de metalurgia. En la mayoría de los casos, los equipos necesarios para la realización de estas pruebas son demasiado costosos y difíciles de adquirir.

Lo anterior repercute de manera importante a la hora de montar un laboratorio de pruebas en algún centro educativo o de investigación. Un claro ejemplo de esto es el Laboratorio de Cristalofísica y Materiales Naturales, del Instituto de Física de la UNAM. Aquí los equipos utilizados para calentamientos y fusiones (fundir) se resumen a simples muflas y calorímetros que utilizan resistencias eléctricas para generar calor.

Es por lo anterior que el eje principal de esta tesis se centra en el rediseño, modificación y acondicionamiento de 2 recipientes o cámaras fabricados de acero inoxidable 304 (según AISI) disponibles en el laboratorio mencionado, los cuales estaban destinados para reciclaje, con el objetivo de transformarlos en hornos de atmosfera controlada con sistemas inducción electromagnética y arco eléctrico, para la generación de calor. Cabe mencionar que este proyecto abarca hasta la fase de diseño detallado en el proceso de diseño, debido principalmente a cuestiones financieras y burocráticas.

Es importante mencionar también, que dichos recipientes recuperados, fueron evaluados para constatar su estado físico y estructural, con el propósito de descartar a todas las posibles reparaciones previas que tuviesen que hacerse.

Con ayuda de los software Inventor® y SolidWorks® se pueden diseñar de una manera más eficiente y sencilla las modificaciones y componentes necesarios para

cumplir el objetivo propuesto. Además, se puede utilizar la herramienta de análisis de elementos finitos de Inventor® para evaluar el comportamiento estático de las cámaras frente al rango de presiones de trabajo que utilizarán.

Una vez concebidos estos equipos es posible incorporarlos a las prácticas de laboratorio escolares, enriqueciendo la calidad de la educación de la institución y orillando al alumno a que pueda comprobar, con experimentos reales, los resultados obtenidos teóricamente y con ello, generar un ambiente de demostración y discusión, lo cual desarrolla las habilidades técnicas del alumno y su capacidad de resolver problemas de la vida real.

Capítulo 1

Procesos de calentamiento y fusión de materiales

Las propiedades físicas de los materiales tienen una amplia variedad de funciones en el procesamiento, síntesis, investigación y experimentación de estos, por ejemplo, la densidad, punto de fusión, calor específico, conductividad y expansión térmica, propiedades eléctricas, magnéticas, resistencia a la oxidación y corrosión, entre muchas otras, pueden alterarse debido a la variación de calor en el material.

Por lo tanto, se puede entender que el calentamiento juega un papel muy importante en la mayoría de las propiedades de materiales. [3]

1.1. Principales procesos de calentamiento y fusión de materiales

En la industria en general, se utilizan muchos tipos de hornos para diversos propósitos, ya sea fundir, calentar, secar, sintetizar, entre muchos otros. A pesar de las diferencias notables que poseen cada uno de ellos, todos cumplen con una misma función principal, que es la de transferir la energía calorífica generada, al material o elemento al que se desea elevar su temperatura. Estos hornos pueden clasificarse en dos vertientes generales, dependiendo al tipo de energía de entrada. [4,5]

1.1.1. Hornos de combustión

En estos hornos, el calor es producido por la quema de algún combustible, ya sea sólido, líquido o gaseoso. El producto por calentar puede estar expuesto directamente a la combustión o puede ser aislado para que no tenga contacto con los gases producidos por la misma. Entre los combustibles más utilizados se encuentran el gas natural, carbón, petróleo, queroseno y aserrín. La combustión

puede aumentarse agregando aire corriente de manera forzada u oxígeno directamente.[5]

1.1.2. Hornos eléctricos

En los hornos eléctricos se utilizan corrientes eléctricas o campos electromagnéticos para la generación de calor. Dicho calor se produce debido a la inducción o al paso directo de corriente a través del material. Para esta clasificación, no se toman en cuenta a métodos más sofisticados como, rayos gamma, infrarrojos o as de electrones.

En estos procesos se obtiene un calentamiento sin producción de desechos (como ocurre en la combustión) con lo cual no se tiene una contaminación del material, además, la eficiencia en la conversión de energía eléctrica a energía calorífica es muy alta [6], por lo tanto, se tiene una menor demanda de recursos y, en consecuencia, un menor impacto económico y ambiental

Para este caso, únicamente se tomarán en cuenta, para el estudio, a los hornos eléctricos, debido a que en el LCMN del IFUNAM se dispone solo con sistemas de calentamiento eléctricos, como se mencionará en los apartados siguientes.

Además, con la implementación de sistemas eléctricos generadores de calor, la transferencia de energía se puede realizar de forma directa o indirecta.

El método directo consiste en generar calor dentro del material en sí mismo, por ejemplo, a través de la inducción electromagnética o de microondas a alta frecuencia. Por otra parte, una transferencia de calor de manera indirecta puede realizarse mediante conducción, convección, radiación o una combinación de estas. [6,7]

Teniendo en cuenta lo anterior, se puede plantear una configuración y una metodología general para los hornos mencionados anteriormente. En la mayoría de las configuraciones consultadas, se utiliza un recinto que aísla al sistema del

ambiente, para evitar principalmente la transferencia de calor hacia afuera de los límites del sistema, confinar las posibles combustiones que se presenten (en el caso de hornos de combustión) y tener un control de la atmósfera que rodea al material. Después, se tiene el sistema generador de calor, que como se ya se mencionó, para este caso es eléctrico; también se establece el tipo que transferencia que ocurrirá durante el evento, y por último, se decide que ocurrirá con los desechos procedentes del proceso. En la Figura 1 se muestra el esquema de dicha configuración. [6,7,8]

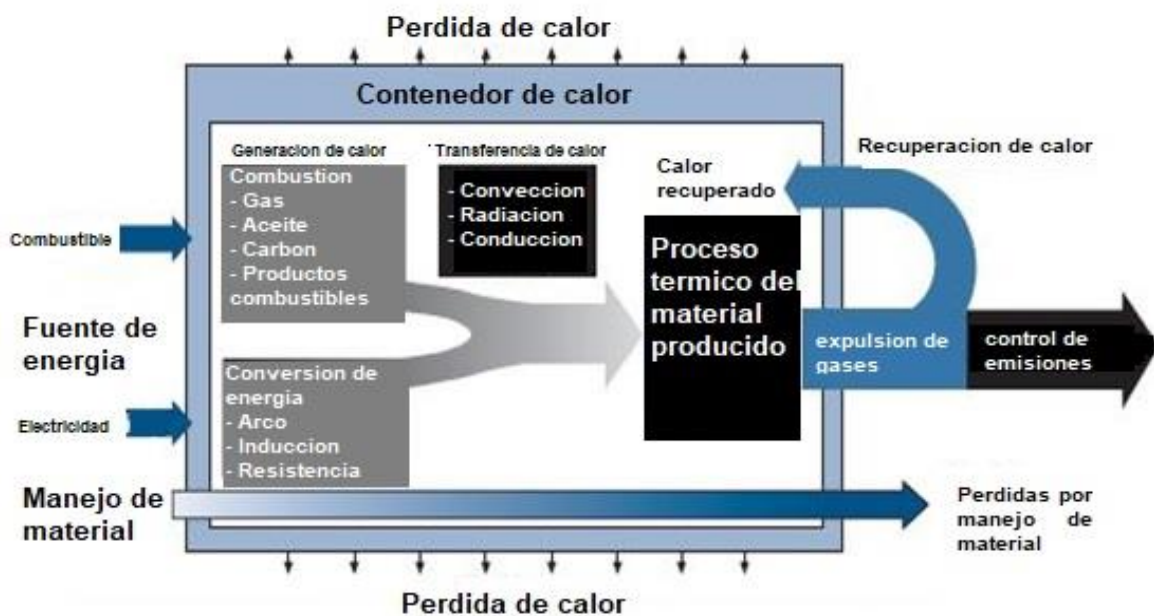


Figura 1. Esquema general para los hornos de proceso, [6].

1.2. Procesos particulares al caso

El LCMN cuenta con diferentes equipos para realizar tratamientos y pruebas térmicas a diversos materiales, pero esta tesis se centra únicamente en la modificación de 2 cámaras prefabricadas en las que se emplean los siguientes procesos; inducción electromagnética y arco eléctrico, todos ellos bajo condiciones de atmósfera controlada.

1.2.1. Inducción electromagnética

Este proceso es común en diversas aplicaciones industriales y en el área de investigación. Guarda importantes ventajas frente a otros métodos de calentamiento, debido a la eficiencia en la generación calor, además, dado que el proceso no produce desechos, los materiales calentados no sufren contaminación externa.

Si bien, con este proceso se solo se pueden calentar directamente a materiales ferromagnéticos, a no ser de realizar las adaptaciones pertinentes, es muy viable utilizarlo en aplicaciones especializadas de ingeniería, por ejemplo, donde se requiera un tratamiento térmico focalizado a una pieza, como en los dientes de un engrane, una leva, etc. [8] Además, en el área de investigación, es posible hacer pruebas térmicas a materiales con variables controladas como atmósfera, temperatura, penetración del calor, tiempo de exposición, entre otras.

Se puede tener un excelente control de las variables mencionadas anteriormente manipulando los parámetros con los que el sistema trabaja, los cuales se explican con detalle a continuación.

1.2.1.1. Parámetros y principios de funcionamiento

El calentamiento por inducción es una aplicación directa de las leyes del magnetismo. La explicación teórica del proceso se hace con la utilización de las leyes de Faraday, Ampere y el efecto Joule conjuntamente. [9]

A continuación, se presenta un desarrollo general de las leyes y operaciones mencionadas, sin mostrar los desarrollos matemáticos completos, por cuestiones de simplicidad, para cada modelo matemático citado.

Se sabe que al circular una corriente I por un conductor, se genera un campo magnético B el cual forma espiras circulares concéntricas cerradas alrededor del

conductor, la dirección de este campo está dada por la regla de la mano derecha como se muestra en la Figura 2.

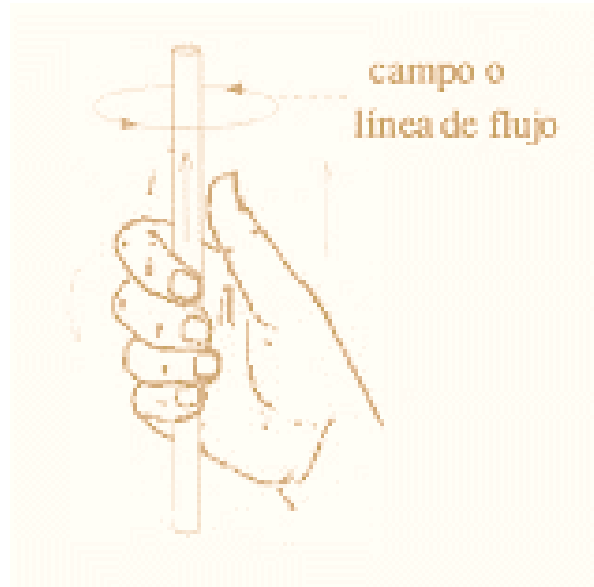


Figura 2. Regla de la mano derecha para campos magnéticos, [10].

Para fundamentar lo anterior, se hace uso de la ley de Ampere, la cual propone lo siguiente.

La densidad de flujo magnético **B** generado por dicha corriente a una distancia **R** a lo largo del conductor recto esta dado por la siguiente ecuación.

$$B = \frac{\mu I}{2\pi R} \quad \dots (1)$$

Donde:

I= Corriente en el conductor.

μ = Permeabilidad del medio.

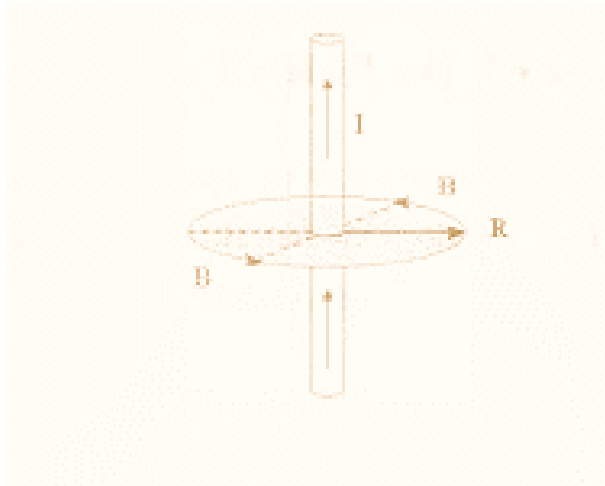


Figura 2. Vector del campo magnético B sobre la región R causado por la corriente I , [10].

La ecuación (1) relaciona a la corriente presente en un conductor con el campo magnético generado por la misma.

Si B es integrado alrededor de una trayectoria cerrada de radio R y longitud l encerrando a un conductor, como se muestra en la Fig. 3, entonces se tiene:

$$\oint B dl = \frac{\mu I}{2\pi R} \oint dl = \frac{\mu I}{2\pi R} 2\pi R = \mu I \quad \dots (2)$$

sí se define a $H = \frac{B}{\mu}$ entonces:

$$\oint H dl = I \quad \dots (3)$$

La ecuación (3) es conocida como ley de Ampere y expresa lo siguiente:

“La integral de línea de H sobre cualquier trayectoria cerrada es igual a la corriente constante encerrada por dicha trayectoria”

Para delimitar este caso, se toma como modelo de análisis un solenoide con N espiras y de longitud L por el cual circula una corriente i , la cual genera una intensidad de campo magnético H dada por la siguiente ecuación.

$$Ni = \oint H dL \simeq HL \quad \dots (4)$$

En resumen, el desarrollo anterior demuestra la presencia de un campo magnético sobre cualquier conductor por el cual circule una corriente. [10]

Si dicha corriente es variable, entonces también el campo magnético lo será. Este campo magnético alterno genera una fuerza electromotriz (FEM) que puede producir una corriente en un circuito cerrado. Una FEM no es otra cosa que un voltaje procedente de los conductores que se mueven en un campo magnético estacionario o de los conductores fijos bajo el efecto de un campo magnético variable. Dicho voltaje inducido, actúa para producir un flujo opuesto, el cual genera corrientes inducidas o parásitas en dicho conductor. [9,10]

Si, además, la trayectoria cerrada es en un filamento conductor enrollado N vueltas (solenoides), se establece entonces.

$$fem = -N \frac{d\Psi}{dt} \quad \dots (5)$$

Donde:

Ψ = Flujo de corriente.

N = Numero de trayectorias coincidentes.

El signo menos en la ecuación (5) indica que la FEM tiene una dirección tal que produce una corriente. La ecuación anterior corresponde a la Ley de Faraday para campos magnéticos variables.

Es importante resaltar que para que exista una FEM inducida en un conductor, éste debe de encontrarse dentro de la trayectoria cerrada del campo y el campo debe de estar cambiando con respecto al tiempo. [11]

Las corrientes parásitas, llamadas también corrientes de Foucault, son las responsables del aumento de la temperatura de la pieza, debido a que existe una disipación de potencia. Dicha disipación de potencia se cuantifica por medio del efecto joule, el cual menciona lo siguiente.

“sí en un conductor circula una corriente eléctrica, parte de la energía cinética de los electrones se transforman en calor debido a los choques que sufren con los átomos del material conductor por el que circulan, elevando la temperatura de este.” [12]

La ecuación (6) muestra el modelo matemático de dicha disipación de potencia para el solenoide estudiado.

$$P = i^2_F R_{eq} \quad \dots (6)$$

Donde:

i_F^2 = Corrientes inducidas.

R_{eq} = Resistencia equivalente.

En los materiales magnéticos como el níquel, hierro y acero se cuenta, además, con la propiedad de histéresis magnética la cual contribuye también con el calentamiento de la pieza.

Otro fenómeno que ocurre durante este proceso es el llamado efecto “skin” provocado por la frecuencia de la corriente. Cuando se logra tener una frecuencia alta circulando por el solenoide, se obtiene una menor penetración de las corrientes parásitas inducidas, pero se tiene una mayor disipación de potencia; lo que se traduce como un mayor calentamiento en un menor tiempo y con un área muy superficial. Por otra parte, si se tiene una corriente a baja frecuencia, se logra una mayor penetración de las corrientes parásitas pero una menor potencia disipada, lo cual se manifiesta como un calentamiento más lento, pero con una mejor distribución interna de calor en el elemento. [11, 13]

Por lo tanto, teniendo en cuenta los fenómenos involucrados en el proceso de inducción, se tiene que: los parámetros más importantes que intervienen en el proceso son.

- ♣ Geometría del inductor.
- ♣ Voltaje y frecuencia de la corriente.
- ♣ Tipo de material que se pretende calentar
- ♣ intensidad de campo magnético en el inductor.
- ♣ Tiempo de exposición al campo magnético.

1.2.1.2. Ventajas y desventajas del proceso

Con este proceso se pueden obtener grandes ventajas frente a otros sistemas de calentamiento. La eficiencia en la transferencia de energía entre la fuente de inducción y el material es lo que más resalta con este método.

Con la inducción electromagnética se pueden obtener calentamientos sumamente controlados y focalizados. La libertad en la variación de los parámetros ayuda a controlar perfectamente las variables involucradas en el proceso, lo cual repercute en resultados experimentales más confiables y precisos.

La principal desventaja que guarda este sistema es la poca gama de materiales que se pueden calentar directamente. Como ya se mencionó, la inducción y generación de corrientes de Foucault se realiza en materiales con buenas propiedades magnéticas como el hierro, níquel, carbono y algunas aleaciones de estos. Si se desea hacer calentamientos a materiales especiales, como polímeros u orgánicos, se deben realizar adaptaciones a la bobina de inducción, por ejemplo, colocando un crisol de material adecuado en el inductor. [13]

1.2.1.3. Ejemplos de aplicaciones

Debido a la versatilidad para adaptar este proceso a casos particulares, existe una gran variedad de aplicaciones que es posible realizar al sistema de inducción.

En el área metalmeccánica y de manufactura, es muy usada la inducción para calentar piezas que continuarán a otro proceso siguiente, por ejemplo, a una laminación, extrusión o forjado, etc. También, en piezas pequeñas en donde

únicamente se necesita un calentamiento focalizado, se puede usar un inductor adaptado a la geometría del elemento como se muestra en la Figura 4.

En general, se puede reemplazar casi cualquier otro sistema de calentamiento eléctrico por un sistema de inducción, dependiendo la aplicación a la que se destine, es posible obtener ventajas muy atractivas y favorables para la experimentación.



Figura 4. Ejemplos de adaptaciones realizadas a la bobina de inducción, [2].

1.2.2. Arco eléctrico

En la mayoría de los casos, el fenómeno de arco eléctrico es indeseado cuando se habla de máquinas o instalaciones eléctricas, debido a que sus efectos pueden llegar a ser caóticos y muy riesgosos, si no se cuentan con las medidas de seguridad adecuadas.

Si se genera de manera controlada y segura, se puede adaptar para lograr obtener energías altas en tiempos muy cortos. Por ejemplo, para poder realizar el reciclaje de elementos metálicos, suelen utilizarse hornos de arco voltaico, los cuales son capaces de fundir grandes volúmenes de chatarra en tiempos relativamente cortos, debido a la gran cantidad de calor que se genera por este fenómeno, alrededor de 6 000 K ($\approx 5500^{\circ}\text{C.}$) en la columna del arco, ver figura 5. [14]

Un arco eléctrico ocurre cuando se tienen dos elementos conductores (electrodos) separados uno del otro, sin tocarse, en donde existe una diferencia de potencial y una corriente eléctrica considerable, por arriba de 10 Amp. El aislante que impide el flujo de corriente entre los electrodos es el aire que existe entre estos; si se vence la resistividad eléctrica de dicho aire entonces ocurre el arco eléctrico, que no es otra cosa más que la manifestación del paso continuo de electrones entre un electrodo y otro en un medio gaseoso ionizado. En la figura 1.5 se ejemplifica gráficamente este fenómeno. Los electrones siempre buscarán el camino más corto hacia donde fluir, es por ello que, si se tiene una distancia grande entre los electrodos, la descarga puede realizarse sobre algún otro elemento conductor cercano aterrizado, alguna persona, por ejemplo. [14,15]

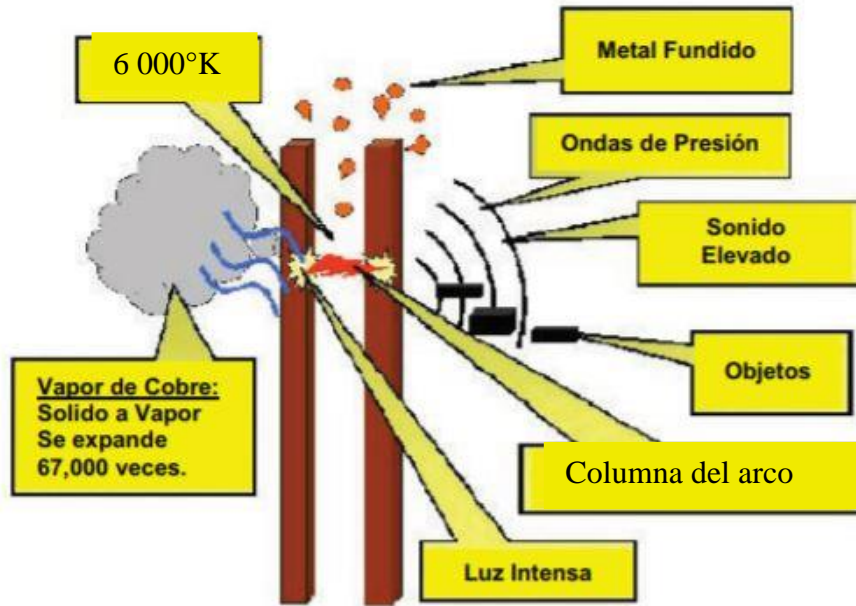


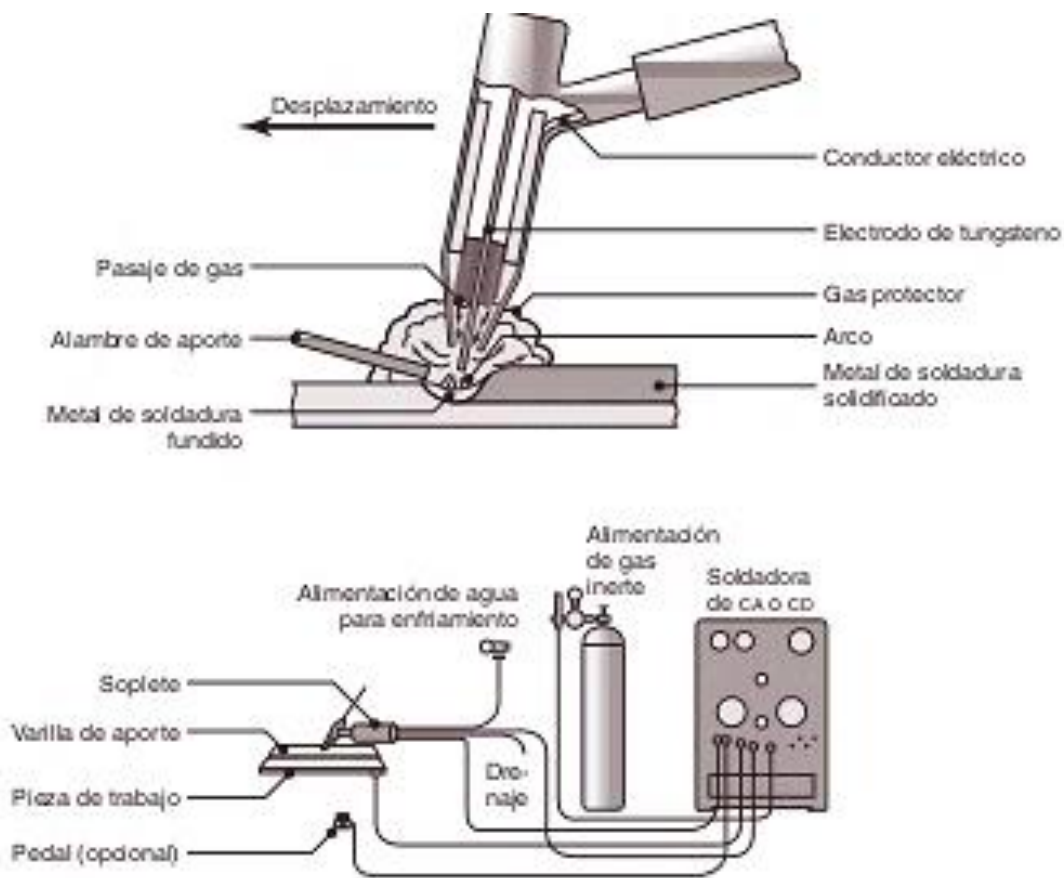
Figura 5. Ejemplo de un arco electro voltaico producido entre dos electrodos de cobre.

Generalmente, cuando se habla sobre procesos que involucren el arco eléctrico como medio de calentamiento, lo primero que se piensa es en las uniones permanentes soldadas entre dos o más piezas metálicas, lo que comúnmente se conoce como soldadura eléctrica. Si no se cuentan con conocimientos del área de ingeniería, es difícil imaginar, a veces, que este proceso también es utilizado para fundir materiales con alto punto de fusión, en tiempos muy cortos y con el mayor ahorro de energía posible.

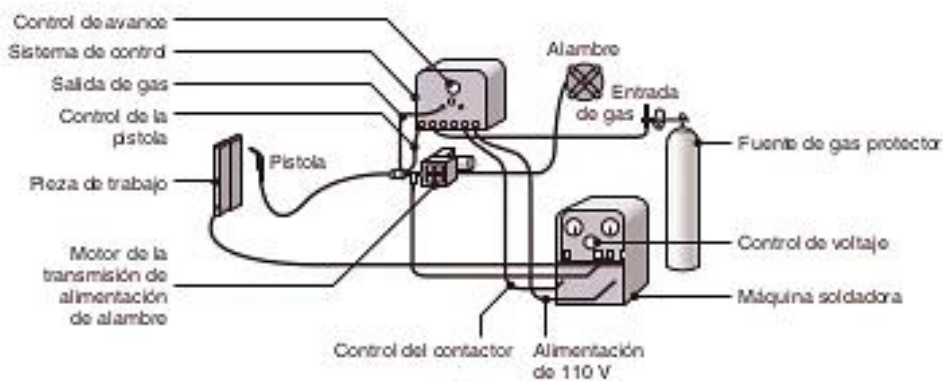
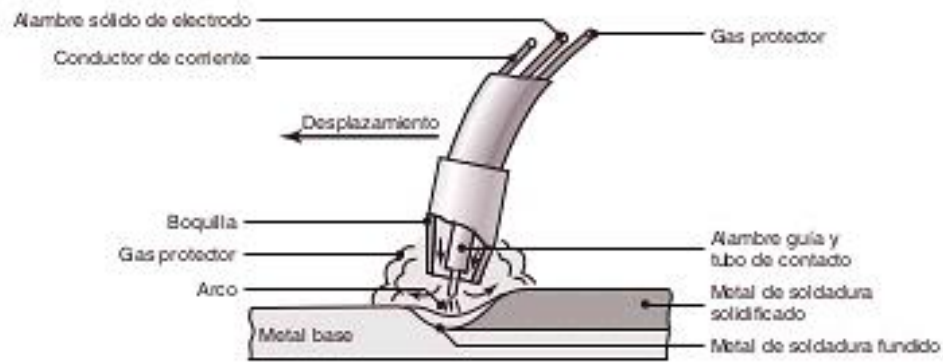
En efecto, el proceso donde más se utiliza el fenómeno de arco eléctrico es en la soldadura metálica. Ya sea en proceso, por sus siglas en inglés, GTAW (Gas Tungsten Arc Welding), GMAW (Gas Metal Arc Welding) o SMAW (Shielded Metal Arc Welding) principalmente, debido a que se obtiene una gran eficiencia y rapidez a la hora de fundir y fusionar los metales.

En el área de investigación, también, es bastante viable la utilización de este fenómeno, por ejemplo, si se desea obtener temperaturas muy altas en el laboratorio, por arriba de los 5000 °C, ya sea para para fundir algún compuesto o material; conviene llevarlo a cabo a través de un arco eléctrico controlado, ya que la fusión del material demoraría escasos segundos en hacerse.

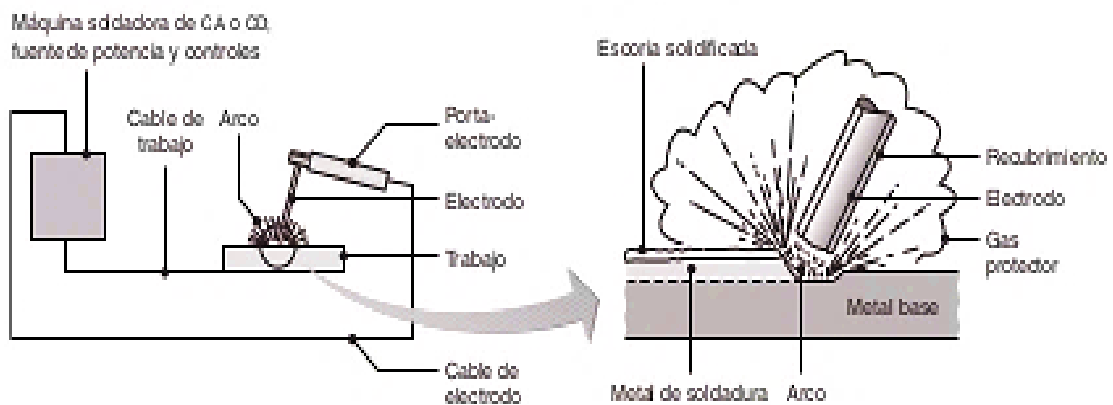
En la Figura 6 se muestran los 3 procesos más utilizados, mencionados anteriormente, para la soldadura metálica eléctrica.



(a)



(b)



(c)

Figura 6. Esquema de los 3 procesos principales de soldadura eléctrica en metales; (a) Proceso GTAW (TIG) con equipo necesario. (b) Proceso GMAW (MIG) y equipo necesario. (c) Proceso SMAW (Electrodo revestido) y equipamiento necesario, [2].

Debido a lo anterior, se decidió utilizar al proceso GTAW (soldadura por arco de tungsteno y gas) para la sustitución de los electrodos instalados originalmente en la cámara para fusión por arco eléctrico. El análisis y los criterios para la toma de esta y otras decisiones se describen en los capítulos siguientes.

Es por lo anterior que, a continuación se describe más detalladamente al proceso mencionado.

1.2.2.1. Proceso GTAW

El sistema GTAW (soldadura por arco de tungsteno y gas) guarda importantes ventajas frente a los otros sistemas generadores de arco que se mencionan en el capítulo anterior, por ejemplo: con este sistema se logra obtener un arco eléctrico muy estable y controlado, debido a que se puede utilizar corriente eléctrica a alta frecuencia., además de poder controlar la penetración e intensidad del baño de plasma. [15,16]

Los elementos mínimos que se requieren para poder llevar a cabo este proceso son:

- ♣ Fuente de poder de corriente continua, con unidad de alta frecuencia incorporada.
- ♣ Suministro de agua para refrigeración (opcional).
- ♣ Suministro de gas de protección (para casos con sistema abierto).
- ♣ Electrodos (electrodo de masa y electrodo de tungsteno).

En el proceso de soldadura metálica se utiliza como porta electrodo, una antorcha o pistola la cual tiene la función de asegurar que circule la corriente por el electrodo,

proveniente de la fuente de alimentación y al mismo tiempo, expulsar gas protector, de manera concéntrica al área donde se está realizando la fusión de los metales, para proteger al material fundido de la contaminación externa como se muestra en las figura 6 (a) y figura 7. La antorcha normalmente se refrigera con aire, pero cuando se trabaja con intensidades superiores a 200 Amp. Se utiliza refrigeración por recirculación de fluido. [17]

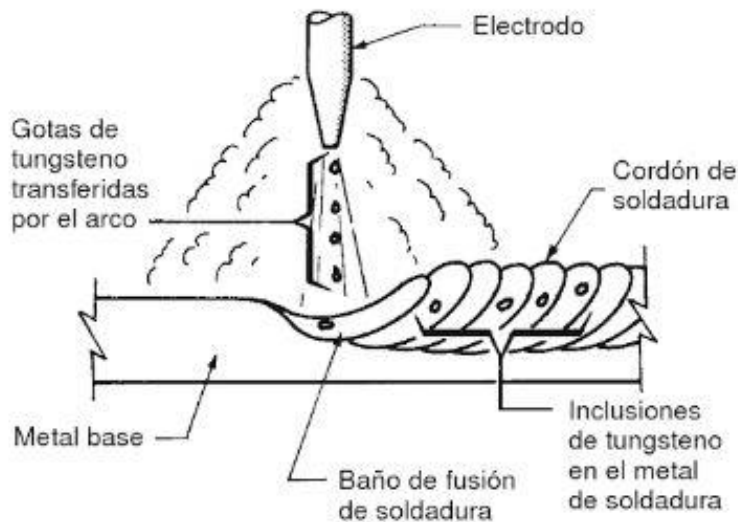


Figura 7. Proceso de soldadura metálica GTAW, [17].

1.2.2.2. Características y parámetros de operación

Debido a que en este caso se utilizó al proceso únicamente para la fusión de materiales y no para efectuar soldaduras, se realizaron adaptaciones a la técnica. La primera de ellas fue a la antorcha porta electrodo, debido a que se cuenta con una cámara cilíndrica, la cual, aísla la muestra a fundir y a los electrodos, por lo tanto no es necesario la inyección de gas, ni el cuerpo de la antorcha, únicamente se conserva al electrodo de tungsteno conectado a la fuente de alimentación; en el capítulo correspondiente se detallan dichas modificaciones.

El elemento principal en este proceso es la fuente de alimentación, la cual es la responsable de rectificar, filtrar y aumentar en intensidad y frecuencia a la corriente que entra al elemento. En la Figura 8 se detalla el flujo de operaciones que experimenta la corriente eléctrica hasta su salida.

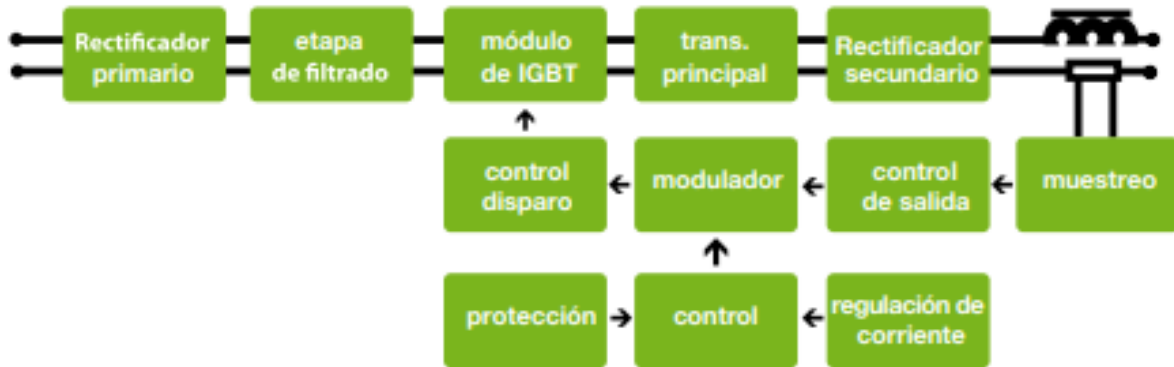


Figura 8. Diagrama de flujo para la obtención de corriente continua a alta frecuencia, [18].

La corriente entra por medio de una línea a la fuente, luego se rectifica por el puente rectificador y se filtra por los condensadores para obtener corriente continua (CC). El puente IGBT junto con el transformador principal convierten de nuevo a la CC en CA (corriente alterna) pero ahora con una mayor frecuencia e intensidad, por el orden de los 30 a 50 KHz, nuevamente, pasa por una etapa de rectificado y filtrado para obtener al final, una corriente continua estable, a alta frecuencia, lista para utilizarse. [18]

En este proceso es posible utilizar tanto Corriente Alterna como Corriente Continua, dependiendo de las necesidades de la aplicación, para ello, si se desea obtener CA para la operación, es necesario eliminar únicamente el rectificado y filtrado secundario del proceso.

La fuente de alimentación elegida para el proceso fue la fabricada por Grupo INFRA® modelo ALPHA TIG 252. Para más información véase anexo 1.

Capítulo 2

Proceso de diseño

En los capítulos posteriores se desarrollarán propuestas para atender a las distintas necesidades que se presentan en las 2 cámaras para experimentación térmica que se pretenden modificar, para que estas, sean capaces de desarrollar experimentos confiables, seguros y precisos. Debido a que el diseño mecánico es la base teórica que lo sustenta, inicialmente se dará una descripción de lo que es el diseño y las etapas del mismo de manera general, para posteriormente desarrollar y aplicar de manera práctica las que así sean necesarias para obtener un prototipo funcional y dar solución a las problemáticas planteadas.

Como verbo, "diseñar" se refiere al proceso de creación y desarrollo para producir un nuevo objeto o medio de comunicación (máquina, producto, edificio, etc.) para uso humano. Como sustantivo, el diseño se refiere al plan final o proposición determinada, fruto del proceso de diseñar (dibujo, proyecto, maqueta, plano o descripción técnica), o (más popularmente) al resultado de llevar a la práctica el concepto ideado.

Así mismo, diseñar requiere principalmente consideraciones funcionales y estéticas. Por ello se requieren de numerosas fases de investigación, análisis, modelado, ajustes y adaptaciones previas a la producción definitiva del objeto. Además, comprende multitud de disciplinas y oficios dependiendo del objeto a diseñar y de la participación en el proceso de una o varias personas.

Por tal motivo al diseñar se tiene que realizar un proceso metodológico, estructurado, en donde de manera sistematizada se optimizan los recursos con que cuenta una organización, con el fin de transformar un conjunto de ideas y conocimientos en un sistema capaz de satisfacer una necesidad. El diseño puede ser mecánico, eléctrico, electrónico o una combinación multidisciplinaria

de ellos, pero el objetivo siempre es el mismo, satisfacer una necesidad o dar solución a un problema.

Por lo tanto, el diseño mecánico es el diseño de objetos y sistemas de naturaleza mecánica: piezas, estructuras, mecanismos, máquinas y dispositivos e instrumentos diversos. En su mayor parte, el diseño mecánico hace uso de las matemáticas, las ciencias de los materiales y las ciencias mecánicas aplicadas a la ingeniería. Esto quiere decir que el diseño mecánico consiste en construir dispositivos que involucran fuerza y movimiento.

Es importante destacar que dichos dispositivos deben diseñarse con base en las normas y estándares vigentes, nacionales e internacionales. Debido a que son sistemas que transmiten movimiento, deben contar con rigidez, tener accesos seguros para los usuarios y un consumo mínimo de energía.

Lo anterior en cuanto a consideraciones generales, pero hoy en día, en diseño mecánico se deben considerar aspectos tan importantes como la calidad, estética e impacto ecológico, esto implica generar productos, procesos o sistemas limpios y en la medida de lo posible minimizar los desechos, así como, fomentar la reutilización de elementos una vez que cumplieron su ciclo de vida. [agregar referencia]

2.1. Factores del diseño

A veces la resistencia de un elemento es un asunto muy importante para determinar la configuración geométrica y las dimensiones que tendrá dicho elemento. En el de diseño tradicional se consideran principalmente aspectos de rigidez, funcionalidad y costo, dentro de este ámbito es necesario realizar un análisis completo de los elementos mecánicos críticos para determinar los materiales a utilizar, dimensiones y características superficiales.

La expresión factor de diseño significa alguna característica o consideración que influye en el diseño de un elemento o quizás en todo el sistema. Por lo general se tienen que considerar diversos factores en un caso de diseño determinado. En ocasiones alguno de estos factores será crítico y, si se satisfacen sus condiciones, ya no será necesario considerar los demás.

La siguiente lista no pretende indicar todas las consideraciones de diseño que se tienen que realizar en el proyecto, pero puede ser una guía útil para considerar durante el desarrollo del proceso.

- | | |
|---------------------------|-----------------------------|
| 1. Resistencia. | 12. Ruido. |
| 2. Confiabilidad. | 13. Estilización. |
| 3. Condiciones térmicas. | 14. Forma. |
| 4. Corrosión. | 15. Tamaño. |
| 5. Desgaste. | 16. Flexibilidad. |
| 6. Fricción o rozamiento. | 17. Control. |
| 7. Procesamiento. | 18. Rigidez. |
| 8. Utilidad. | 19. Acabado de superficies. |
| 9. Costo. | 20. Lubricación. |
| 10. Seguridad. | 21. Mantenimiento. |
| 11. Peso. | 22. Volumen. |

Alguno de estos factores se refiere directamente a las dimensiones, al material, al proceso de fabricación, o bien, a la unión o ensamble de los elementos del sistema; otros se relacionan con la configuración total del sistema.

A continuación se muestran algunas consideraciones relevantes en las que se pueden resumir los factores de diseño tomando en cuenta los más significativos.

2.1.1. Consideraciones económicas

Sin duda alguna las consideraciones económicas son las que tienen mayor relevancia al momento de diseñar, ya que el factor de diseño está intrínsecamente involucrado con los costos de fabricación y adquisición de materia prima. Para su mejor comprensión únicamente se presentarán algunos enfoques sencillos y reglas generales.

En primer lugar, debe notarse que no se puede decir nada absoluto en lo que respecta a los costos. El costo de los materiales y de la mano de obra se incrementa generalmente año con año. Sin embargo, es de esperar que los costos de procesamiento de materiales manifiesten una tendencia a bajar debido al uso de máquinas-herramientas automatizadas. El costo de fabricar un mismo producto varía de una ciudad a otra y de una planta a otra, debido a las diferencias que hay en gastos generales, de mano de obra, ajustes por fletes y ligeras variaciones por manufactura.

2.1.2. Selección de elementos comerciales

No todos los elementos que se integran en una máquina deben diseñarse, existen empresas dedicadas a fabricar elementos “comerciales”, es decir, cuentan con piezas en tamaños estándar de rodamientos, tornillos, cadenas de rodillos, engranes, ventiladores, baterías, circuitos electrónicos, impresoras, reductores de velocidad y motores eléctricos. Estos últimos de gran importancia en el diseño, ya que en muchas máquinas el movimiento rotativo es constante.

Por ello, el ingeniero de diseño debe conocer los elementos comerciales que existen en el mercado, y evaluar la posibilidad de integrarlos a su diseño. Compara los datos del fabricante como materiales, resistencia, dimensiones, peso y con esto realizar la selección de los mismos.

2.1.3. Manejo de tamaños estándares

Este es un principio básico para reducir los costos. Por ejemplo, se requiriera una barra G10350 de acero laminado en caliente y de sección cuadrada de 2 $\frac{1}{8}$ " (53.9mm) de lado, al cual suele llamarse "cuadrado laminado en caliente" incrementaría el costo del producto siempre si no hubiera cuadrados estándares de 2" (50.8mm) o de 2 $\frac{1}{4}$ " (57.1mm) que sirvieran también como uno de 2 $\frac{1}{8}$ " debido a que los cuadrados de esta última medida sólo se pueden adquirir sobre pedido especial o bien laminando o maquinando una barra especial, procedimientos que encarecerían el producto. Cabe mencionar que en los sistemas métricos se emplean medidas en milímetros.

Para tener la seguridad de que se especifiquen tamaños estándares, el ingeniero de diseño debe tener conocimiento de las listas de existencias de los materiales a emplear. Tales listas se pueden consultar en bibliotecas u otros centros de información, o bien, adquirir directamente con los abastecedores o proveedores.

Por otro lado, en el diseño se especifican muchas piezas o máquinas que deben comprarse, como por ejemplo, motores, bombas, cojinetes y sujetadores. En este caso el diseñador tiene que especificar elementos que se puedan conseguir fácilmente. Recordemos que los elementos que se fabrican o venden en grandes cantidades tienen un costo menor, en comparación con los que tienen tamaños poco comunes.

2.1.4. Utilización de tolerancias

Entre los efectos que tienen las especificaciones de diseño sobre los costos, los de las tolerancias son las más significativas, debido a que influyen directamente en la rentabilidad del producto final, por ejemplo; se pueden necesitar pasos adicionales en el proceso, los cuales hagan que la fabricación de una pieza sea totalmente incosteable. El término tolerancia abarca tanto la variación de las dimensiones y los

límites para la aspereza de las superficies, como la variación de las propiedades mecánicas producidas por tratamientos térmicos u otras operaciones de procesado.

Muchas de las piezas que tienen amplias tolerancias se pueden producir con máquinas de alto rendimiento o volumen de producción. Además, el costo de la mano de obra será menor, ya que no se requiere emplear a operarios muy calificados si se desean piezas con altos grados de tolerancia. Así mismo, serán pocas las piezas de este tipo que se rechacen durante el proceso de inspección y por lo general, será más fácil montarlas o ensamblarlas.

2.1.5. Puntos de equilibrio

Es muy común que cuando se compara el costo de dos o más diseños, el criterio para elegir uno de ellos, dependerá de otras condiciones como son: volumen de producción, velocidad de las líneas de ensamble o alguna otra. De esta manera se llega a un punto donde se igualan o equilibran los costos, el cual recibe el nombre de punto de equilibrio.

2.1.6. Estimaciones de costo

Hay muchas maneras de obtener valores relativos de los costos, de modo que se puede hacer una comparación aproximada entre uno o más diseños; sin embargo, en algunos casos se necesitan bastantes criterios. Una forma de comparar el costo de un diseño con el de otro sería, simplemente, contar el número de piezas, pues es probable que cueste menos el que tenga menos cantidad de partes.

Se pueden utilizar otros estimadores de costos, según se requiera en cada cotización, como área, volumen, potencia, momento o par de torsión, capacidad, velocidad y diversas relaciones o coeficientes de funcionamiento.

2.2. Ingeniería de diseño

La ingeniería de diseño se ha definido como “el proceso de aplicar diversas técnicas y principios científicos con el objeto de definir un dispositivo, un proceso o un sistema enormemente complejo, fácil o difícil, matemático o no matemático, y puede implicar un problema trivial o uno de gran importancia”, [23]. El diseño es un componente universal en la práctica de la ingeniería. Sin embargo, la complejidad de las cuestiones de ingeniería generalmente requiere que el estudiante disponga de un conjunto de problemas bien estructurados, diseñados para aclarar uno o varios conceptos particulares que se relacionan con un tema específico.

Por desgracia, los problemas de ingeniería de la vida real casi nunca están estructurados así. Por tales motivos al diseñar es conveniente desarrollar un proceso de diseño, El cual se puede considerar como una guía de las etapas por cumplir con un cierto grado de flexibilidad para la solución de problemas de ingeniería. Debido a que los diseñadores emplean un gran número de combinaciones de etapas y ninguna garantiza ser la mejor, el cumplir estrictamente un proceso de diseño no asegura una solución exitosa. Pero si, un orden en las ideas y en el manejo de la información.

Con base en el planteamiento anterior, en la tabla 1 se propone un orden de pasos del proceso de diseño. Si bien, los primeros 2 puntos ya fueron desarrollados en el capítulo 1, por cuestiones de contexto, los siguientes puntos son descritos y desarrollados a lo largo de toda esta tesis.

Cabe aclarar que este trabajo de diseño abarcará hasta el punto 7 del proceso de diseño (diseño detallado) debido a que el objetivo principal es el de presentar propuestas conceptuales y no pruebas de funcionamiento reales, esto debido principalmente a cuestiones económicas y burocráticas.

Proceso de diseño
1.- Identificación de la necesidad.
2.- Investigación preliminar.
3.- Definición del problema.
4.- Especificaciones de funcionamiento.
5.- Configuración.
6.- Conceptualización.
7.- Diseño detallado.
8.- Prototipo y pruebas.

Tabla 1. Pasos para seguir en el proceso de diseño.

2.2.1. Identificación de la necesidad

Este primer paso con frecuencia lo realiza alguien más, el encargado directo o un cliente “Lo que se necesita es...” En general este enunciado será breve y carente de detalles. Estará muy lejos de proporcionarle un enunciado de problema estructurado.

Comúnmente, el diseño comienza cuando un ingeniero se da cuenta de que existe una necesidad y decide hacer algo al respecto. Cabe mencionar, que identificar una necesidad y expresarla en determinado número de palabras, es una actividad sumamente creativa, pues la necesidad puede manifestarse simplemente como un vago descontento, o bien, por la intuición de una dificultad o en la sensación de que algo no está bien.

Por lo general, las necesidades se identifican a partir de una circunstancia adversa o bien de una serie de circunstancias fortuitas que surgen casi al mismo tiempo. Además, es obvio que si una persona es sensible y percibe fácilmente las cosas, entonces es más probable que identifique una necesidad y haga algo al respecto. Por esta razón, las personas sensibles son las más creativas.

Como ya se ha indicado, generalmente la necesidad no es evidente. Una necesidad se identifica fácilmente después de que alguien la ha planteado.

2.2.2. Investigación preliminar

Ésta es la fase más importante en el proceso y desafortunadamente suele desdeñarse, ya que la investigación en este caso se realiza para reunir información preliminar acerca de datos de física, química o de otros aspectos relevantes del problema.

Asimismo, es conveniente hallar si éste, o un problema similar, se han resuelto antes. No se necesita “reinventar la rueda”, con suerte ya está en el mercado la solución, y sin duda será más económico comprarla que elaborar una propia. Sin embargo en esta etapa, se puede aprender mucho acerca del problema por resolver cuando se investiga la existencia del arte asociado a tecnologías y productos similares.

La información sobre patentes y las publicaciones técnicas en el área son fuentes de información y es posible tener acceso a ellas por medio de Internet. Es claro que si se halla la solución y ésta amparada por una patente aún en vigencia, se tendrá pocas opciones éticas: adquirir la solución patentada, diseñar algo que no entre en conflicto con la patente, o bien, abandonar el proyecto. Es muy importante que se dediquen la energía y el tiempo suficientes a esta fase de investigación y preparación del proceso, con el fin de evitar tropiezos al elaborar una solución grandiosa para un problema equivocado.

2.2.3. Definición del problema

Una vez que se comprende el funcionamiento del área del problema como originalmente se estableció, se estará listo para expresar de nuevo ese problema en un planteamiento de meta más coherente. Esta nueva especificación del problema debe tener tres características. Ser concisa, general y no estar matizada por términos que pronostiquen una solución. Debe ser esbozada, con base a una visualización funcional, lo que significa concebir su función, más que señalar cualquier incorporación particular.

El planteamiento de la meta debe abarcar también todas las condiciones para el objeto que se va a diseñar. Tales condiciones son las cantidades de entrada y de salida, las características y dimensiones del espacio que deberá ocupar el objeto, y todas las limitaciones a estas cantidades. Se puede considerar al objeto como algo colocado en una caja negra, invisible desde fuera. En este caso se tiene que determinar lo que entrará y lo que saldrá de dicha caja, así como sus características y limitaciones.

2.2.4. Especificaciones de funcionamiento

Cuando se comprende el funcionamiento, y las metas se establecen claramente, se está listo para formular un conjunto de especificaciones de funcionamiento. Esto no debe incluir especificaciones de diseño. La diferencia es que las especificaciones de funcionamiento definen lo que el sistema debe hacer, en tanto que las especificaciones de diseño definen como debe hacerse. En esta etapa del proceso de diseño no es prudente determinar el objetivo específico. Éste se define en la fase de conceptualización.

Por ello, el propósito de las especificaciones de funcionamiento es definir y restringir cuidadosamente el problema, de modo que se pueda resolver y mostrar que se ha resuelto, después de tal hecho.

Asimismo, las especificaciones definen el costo, la cantidad de piezas a fabricar, la duración esperada, el intervalo o variedad de capacidades, la temperatura de trabajo y la confiabilidad. Entre dichas condiciones sobresalen las velocidades necesarias, las intensidades de alimentación, las limitaciones de temperatura, el alcance máximo, las variaciones esperadas en las variables y las restricciones en tamaño y peso.

Existen muchas condiciones intrínsecas que dependen del ambiente particular del diseñador o de la propia naturaleza del problema. Los procesos de fabricación de que se disponen y las instalaciones de cierta planta industrial son restricciones a la libertad de acción del que diseña; por lo tanto, forman parte de las condiciones intrínsecas. Por ejemplo, una fábrica pequeña tal vez no tenga maquinaria para trabajar metales en frío. Sabiendo esto, el diseñador seleccionará otro método de fabricación que se pueda aplicar en la planta. La habilidad y calificación del personal disponible y la situación competitiva son también condiciones o especificaciones inherentes.

Todo lo que limite la libertad de selección del diseñador es una condición o especificación. Por ejemplo, en los catálogos, los fabricantes listan muchos materiales y tamaños de productos, pero muchas veces no pueden surtirlos todos y frecuentemente hay escasez de alguno. Además la economía de inventario requiere que el fabricante tenga en existencia una cantidad mínima de materiales y producto a sustituir, [23].

2.2.5. Diseño de configuración

Este paso entraña diversión y frustración. Esta fase es, potencialmente, la más satisfactoria para la mayoría de los diseñadores, pero también la más difícil, donde la creatividad (característica por excelencia de los seres humanos) es la base fundamental para llevar a cabo su desarrollo, [24].

Esta etapa del diseño lleva consigo lo que se llama, proceso creativo, el cual ha desarrollado muchas técnicas para acentuar o inspirar la resolución creativa de problemas.

La generación de ideas es la etapa más difícil, Incluso personas muy creativas tienen dificultad en la invención “sobre pedido”. Se han sugerido muchas técnicas para mejorar la producción de ideas, y la más importante es la del juicio diferido, lo que significa que el espíritu crítico de uno debe anularse temporalmente. La meta aquí es obtener la mayor cantidad posible de diseños potenciales. Aun sugerencias en apariencia ridículas deben ser bienvenidas, ya que pueden hacer surgir nuevas perspectivas y proponer otras soluciones más prácticas y realistas.

Una técnica de gran éxito en la generación de soluciones creativas es la lluvia de ideas. En este método se necesita un grupo de personas, de preferencia entre 6 y 15, y se trata de evitar la más grande barrera a la creatividad que es el miedo al ridículo. En un grupo la mayoría de las personas no manifestarán sus verdaderos pensamientos acerca de una materia por temor a la burla.

Cuando se trabaja solo se requiere utilizar otras técnicas, por ejemplo, las analogías y la inversión con frecuencia son útiles, un problema mecánico se puede convertir en uno hidráulico o eléctrico. La inversión pone de manifiesto otro enfoque de resolución.

2.2.6. Conceptualización

Una vez que se llega a esta etapa se tendrá estructurado el problema, por lo menos temporalmente, aunque se podrán aplicar técnicas de análisis más refinadas para examinar la realización del diseño en la fase de análisis del proceso respectivo. Cabe destacar que se requerirá mayor iteración a medida que se descubran problemas a partir del análisis.

Cuando el análisis técnico indica que hay algunos diseños potencialmente viables, se debe seleccionar el óptimo disponible para el diseño detallado, el prototipo y las pruebas. Este proceso de selección generalmente incluye un análisis comparativo de las soluciones de diseño disponibles. A veces una matriz de decisión ayuda a identificar la mejor solución y obliga a considerar una variedad de factores en forma sistemática como el costo, la facilidad de uso, la eficiencia, el funcionamiento, la confiabilidad y otras que se juzguen apropiadas para el problema en particular.

2.2.7. Diseño detallado

Este paso por lo general incluye la creación de un conjunto completo de dibujos de ensamblaje y de detalle, o de archivos de partes mediante el diseño asistido por computadora (CAD), para todas y cada una de las partes empleadas en el diseño. Cabe destacar que en esta etapa se efectúa la memoria de cálculo para cada uno de los componentes. Asimismo cada dibujo de detalle debe especificar todas las dimensiones y especificaciones de material necesario para elaborar esa pieza o parte. A partir de esos dibujos (o archivos de CAD) debe construirse un modelo de prueba (o varios modelos) para someterlo a pruebas físicas. Es muy probable que las pruebas revelen más defectos y se requiera realizar una mayor cantidad de iteraciones.

2.2.8. Prototipos y pruebas

El prototipo es un modelo o versión inicial de un producto, previsto para probar y desarrollar el diseño. Antes de invertir en el equipo necesario para fabricar en serie un producto, el fabricante debe estar convencido de que el diseño es seguro y fiable. Los diseñadores e ingenieros emplean prototipos para conseguirlo.

Los prototipos pueden ser muy sencillos, con sólo unos pocos componentes. Un ejemplo sería un prototipo para averiguar la velocidad de giro de una cuchilla de una cortacésped cuando es impulsada por un motor eléctrico determinado donde, solo

sería necesario un motor, una cuchilla y una fuente de alimentación para obtener dicho dato.

A medida que el diseño avanza, los prototipos se hacen más complicados. Al aumentar gradualmente la complejidad del prototipo se pueden identificar y corregir posibles problemas del diseño.

En la última fase del proceso de diseño, los prototipos son muy parecidos al producto final. La principal diferencia es que no se fabrican con los medios de producción en serie que se emplearán en el producto final, ya que por lo general se construyen con partes de producción ideal, con la misma propiedad de material y geometría con que se tiene pensado que será en la versión de producción pero no necesariamente fabricadas con los procesos reales que se utilizarán en la manufactura, ya que dichos medios aún no existen.

El papel fundamental de un prototipo es reducir el riesgo de errores de diseño. Con los prototipos, los fabricantes pueden adquirir confianza en sus diseños y justificar la inversión necesaria para su producción en serie. Porque finalmente, no se puede estar seguro de la corrección o viabilidad de un diseño hasta que no sea construido y probado. Un modelo matemático, aunque es muy útil, no puede ser una representación tan completa y segura como un modelo físico, debido a la necesidad de efectuar hipótesis simplificadoras.

Los prototipos con frecuencia son muy costosos, pero aun así son la forma más económica de probar un diseño y no tener que construir un dispositivo real, a escala natural. Los prototipos pueden tomar muchas formas, desde modelos a escala de trabajo hasta representaciones del concepto, de tamaño natural pero simplificado. Los modelos a escala introducen sus propias complicaciones respecto a las tolerancias dimensionales respecto a los parámetros físicos.

Las pruebas que se le realizan al prototipo son de mucha importancia ya que por medio de estas se pueden eliminar peligros, costos y conflictos provenientes de

encontrar errores en el diseño después de fabricar grandes cantidades de artículos defectuosos.

Con bastante tiempo, dinero y perseverancia, el diseño estará listo para la producción. Ésta podría consistir en la manufactura de una sola versión final del diseño, pero probablemente significará hacer miles o incluso millones de versiones de un solo diseño. Aunque antes se puede implementar una producción piloto, para prevenir algunas complicaciones que pudieran surgir en la producción final, [24].

2.3. Metodología para el proceso de rediseño y adaptación de las cámaras para tratamientos térmicos de materiales

Con base en los factores y procesos de diseño mostrados anteriormente, se puede plantear ahora una metodología específica para el caso de las cámaras que se pretenden modificar, considerando las etapas que se muestran en la tabla 1. A continuación, en la figura 9 se muestra un diagrama con los pasos propuestos para este caso.

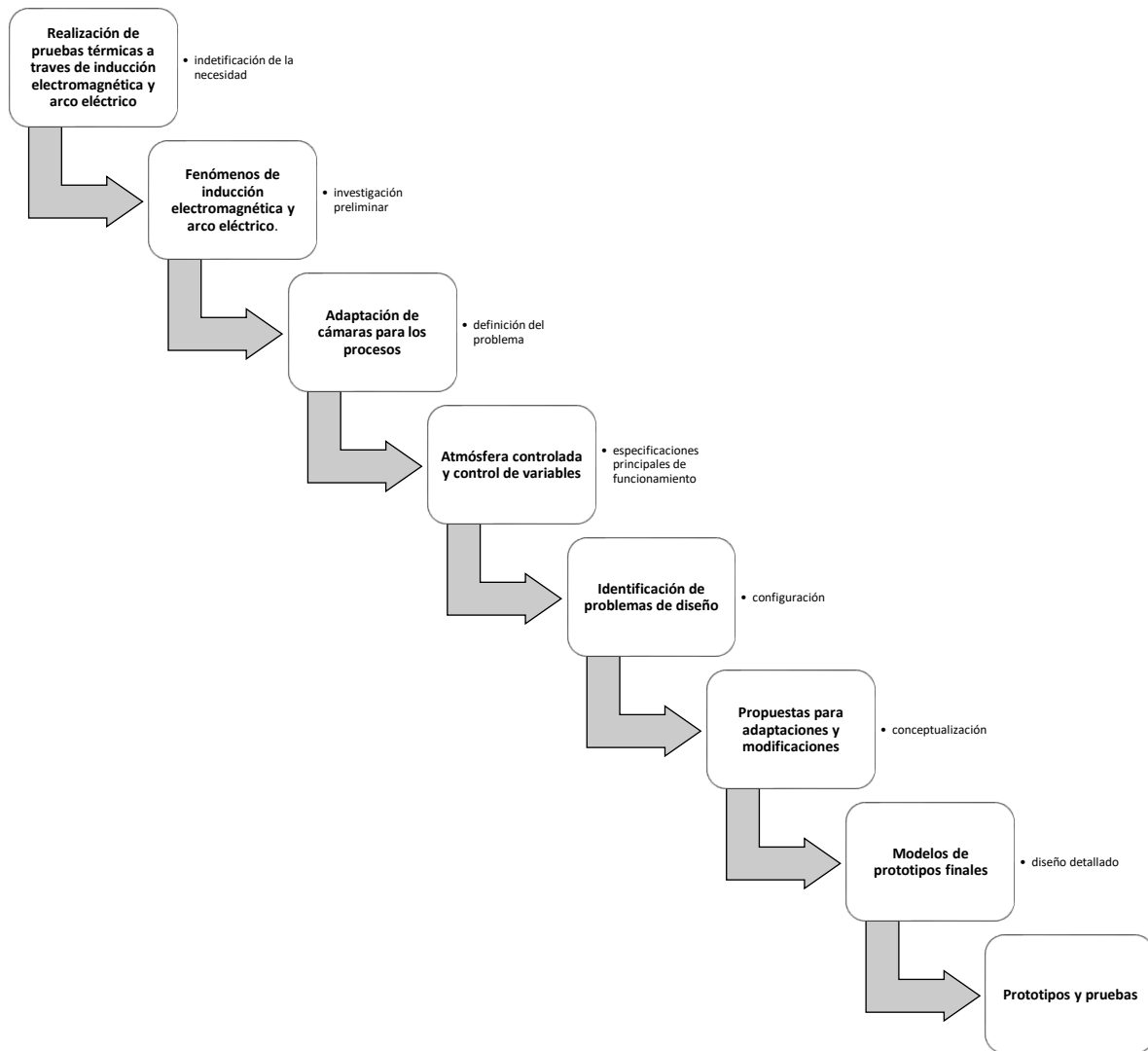


Figura. 9. Proceso de diseño en ingeniería.

Capítulo 3

Descripción del equipo disponible y detección de limitaciones y problemas de diseño

En las fotografías que se presentan a continuación, se muestra el equipo disponible para los diferentes procesos de calentamiento descritos en el Capítulo 1. Todos ellos están instalados en el Laboratorio de Cristalofísica y Materiales Naturales del IFUNAM.

3.1. Calentamiento y fusión por inducción electromagnética

Este equipo consta de varios elementos, los cuales se acoplan para trabajar juntamente con la intención de lograr un calentamiento localizado y controlado dentro de una atmósfera inerte. En este caso el sistema de refrigeración del conjunto es muy importante, debido a que si es deficiente se corre el riesgo de dañar los elementos internos de la fuente de inducción, además, la bobina de inducción podría fundirse junto con la muestra.

Los principales sistemas que componen a este equipo son: El sistema de inducción, la cámara aislante y el sistema de refrigeración.

3.1.1. Sistema de inducción

Consta de una fuente de inducción marca LEPEL modelo T-7.5-3-MC-SW, la cual ha sido diseñada para aplicaciones industriales de calentamiento y que fungirá como fuente generadora de calor en el proceso. [19] En la figura 2.1 se muestran fotografías del elemento.



Figura 10. Diferentes vistas ilustrativas de la fuente de inducción LEPEL.

Las especificaciones técnicas de la fuente de inducción son las siguientes:

- ♣ Potencia de salida: 7.5 KW
- ♣ Rango de frecuencia de salida: 2.5 a 5 MHz y 5 a 8 MHz
- ♣ Energía de entrada: 16.7 KVA, 90% FP, 3 Fases.
- ♣ Voltaje de línea de CA: 230, 380, 460 o 550 V.
- ♣ Frecuencia de línea de CA: 60 o 50 Hz.
- ♣ Tubo Oscilador.
- ♣ Voltaje de Filamento: 12.6 VCA +- 0.68 VCA.
- ♣ Voltaje de la placa de CD: 6.7 KV.
- ♣ Corriente de la placa de CD: 1.95 Amp Max.
- ♣ Corriente de la malla de CD: 0.40 a 0.60 Amp.
- ♣ Suministro de agua local (sin recirculación): 4 GPM, 40 a 65 PSI, 27 °C máx. a la entrada.
- ♣ Dimensiones de Gabinete: 30", 40", 56".

3.1.2. Sistema de refrigeración

La fuente de alimentación cuenta con un sistema de refrigeración local, el cual controla el calor generado por los elementos eléctricos de potencia internos pero, en casos donde las operaciones demoren mucho tiempo, se debe de instalar un sistema extra para el control de temperatura. En la figura 11 se muestran los elementos que se dispone para ese caso.

El intercambio de calor de este sistema se realiza en el tanque de almacenamiento, liberándolo a través de sus paredes hacia el ambiente mediante radiación; debido a que la razón entre el volumen de agua del tanque y el volumen de agua en las tuberías internas de la fuente es grande, se estima que el calor entrante se alcanza a disipar mediante convección dentro del tanque.



Figura 11. Fotografía tomada a sistema de refrigeración por circulación forzada de agua. Se puede observar a los elementos que componen al sistema.

1. **Contenedor.** Fabricado en acero inoxidable 304, con una capacidad aproximada de 200 L. El cual tiene la función de almacenar y bajar la temperatura del agua procedente de la fuente.
2. **Bomba impulsora.** Para lograr la recirculación del fluido de trabajo.
3. **Conexiones y accesorios necesarios.**

Según el manual del fabricante, la presión del suministro de agua no debe superar los 65 psi y un caudal de 4 galones por minuto, para garantizar la refrigeración. Se utiliza agua destilada para evitar la generación de impurezas dentro de los ductos de circulación.

3.1.3. Cámara para inducción electromagnética

La función principal de esta cámara es aislar al material calentado del medio ambiente, para evitar contaminaciones, oxidaciones o perturbaciones y mantener un control de la atmósfera en todo momento.

En la Figura 12, se muestran fotografías de dicha cámara, la cual está fabricada de Acero inoxidable y encamisada, para tener una refrigeración con circulación de agua y evitar el sobrecalentamiento de sus paredes.



Figura 12. Fotografías tomadas a cámara para fusión electromagnética antes de ser intervenida

Las características técnicas de esta cámara antes de las intervenciones son las siguientes:

- ♣ Material: Acero inoxidable 304.
- ♣ Volumen: 28000 cm³ aprox.
- ♣ Espacio de camisa: 20mm.
- ♣ Dimensiones totales aproximadas: Alto 700 cm, ancho 745 cm, largo 535 cm.
- ♣ Tipo de cierre: Juntas mecánicas de tornillos con sello metálico tipo Varían.

Después de haber analizado y discutido las principales limitaciones que presentan, tanto en el diseño como en la distribución de elementos en la cámara, a continuación, en la tabla 2 se presentan y jerarquizan dichas problemáticas, surgidas a raíz de observaciones y testimonios propios de los futuros usuarios.

Necesidad	Relación de importancia		
	Poca	Mediana	Mucha
Miras para observación al interior			✕
Ergonomía		✕	
Seguridad			✕
Bajo costo		✕	
Base de apoyo			
Pasamuros para alta frecuencia			✕
Medidores de presión y temperatura			✕
Tapa de acceso rápido			✕
Entradas y salidas de gases			✕
Soporte para crisol			✕
Refrigeración para crisol	✕		
Refrigeración para fuente		✕	
Refrigeración para cámara		✕	
Portabilidad	✕		
Utilización de materiales especializados	✕		

Visualmente atractivo	✗		
Producciones con gran volumen	✗		
Válvula de seguridad para alta presión			✗

Tabla 2. Relación de importancia para las necesidades surgidas en cámara para inducción electromagnética.

Se decidió atender primeramente a las necesidades clasificadas con mucha importancia, ya que como se observa en la tabla anterior, estas atienden a modificaciones que se realizarán al cuerpo de la cámara. Dichas encomiendas se enlistan a continuación y se muestran gráficamente en la figura 13.

1. **Mirilla de observación, ausente.** Para poder visualizar el estado del material durante el proceso y tener un control total del mismo, la cámara debe contar con esa mirilla.
2. **Base de apoyo y sujeción, ausente.** Como se observa en la figura 2.4, el elemento está asentado únicamente en un rack sin ningún tipo de sujeción, lo cual resulta riesgoso para el usuario que lo manipule.
3. **Tapa de acceso rápido, ausente.** Para aplicaciones de fundición, donde se necesite el acceso al material fundido de una manera rápida y fácil.

4. **Pasamuros con bobina de inducción, ausente.** Este elemento es el más importante, ya que es el encargado de conectar a la bobina de inducción con la fuente generadora de una manera totalmente hermética.
5. **Medidores de presión y temperatura, ausentes.** Es imprescindible la instalación de medidores de presión, tanto manométrica como vacuométrica, para poder tener un control preciso y seguro de la atmosfera dentro de la cámara, así como también, instrumentos de medición de temperatura.
6. **Entrada y salida de gases, ausente.** Ya sea para el caso de atmosferas con gas inerte, oxidante, carburante, etcétera, o para atmosfera al vacío; es recomendable que exista una circulación de gas continua durante todo el proceso (no aplica para atmosfera al vacío) esto para garantizar una buena calidad del gas alrededor de la muestra.
7. **Soporte para crisol, no visible en imagen.** Es necesario la construcción de una base que soporte al crisol o al material que se pretende calentar para poder tener una buena fijación de estos elementos y evitar accidentes al interior de la cámara. También, la base facilitara la extracción del material desde el interior.
8. **Válvula de seguridad para alta presión, no visible en imagen.** En casos extraordinarios donde se registre un aumento importante de presión interna en la cámara, la válvula de seguridad evitara accidentes que pudiesen llegar a ser caóticos.

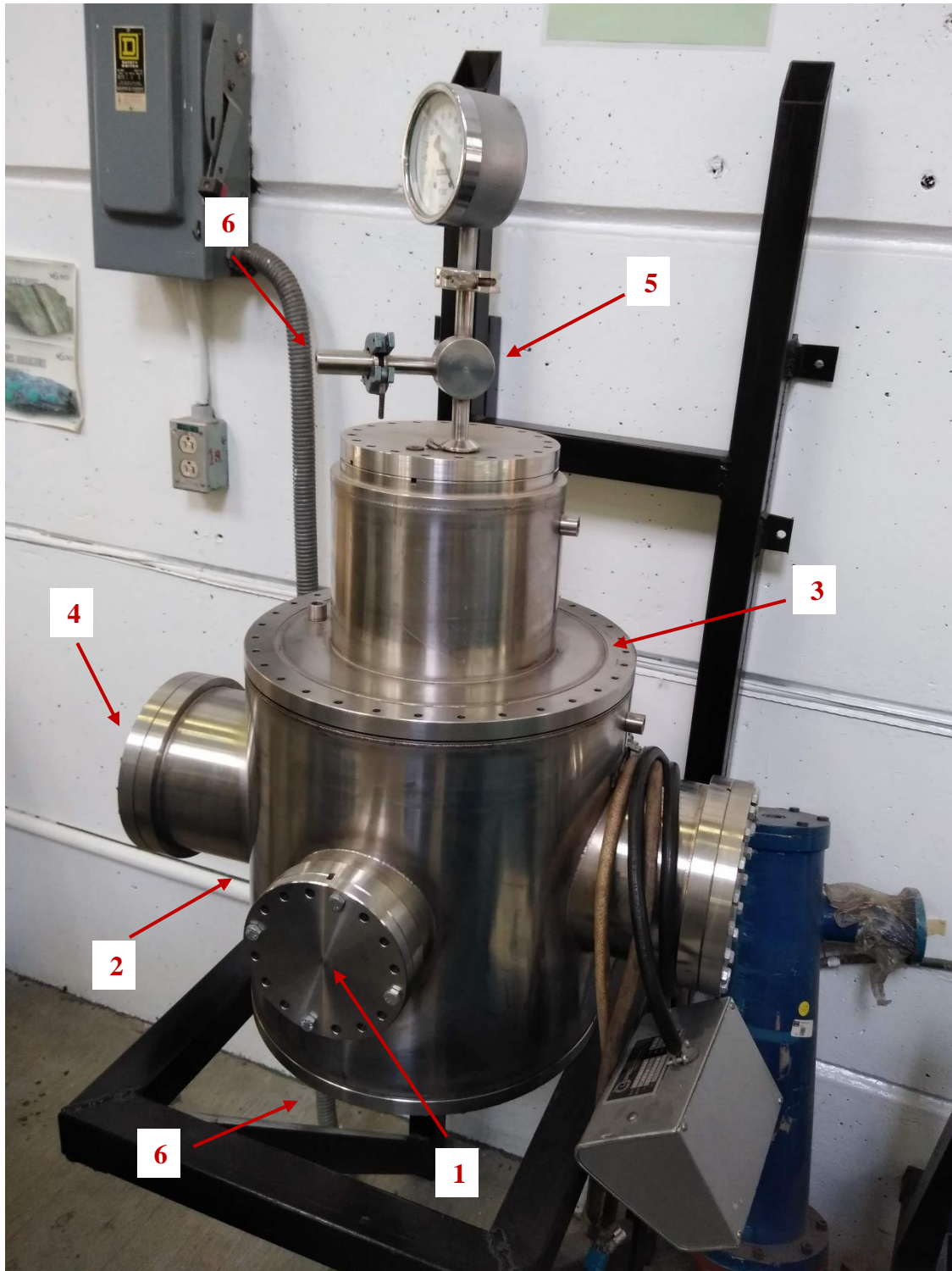


Figura 13. Imagen de cámara para inducción con apuntes de elementos a corregir.

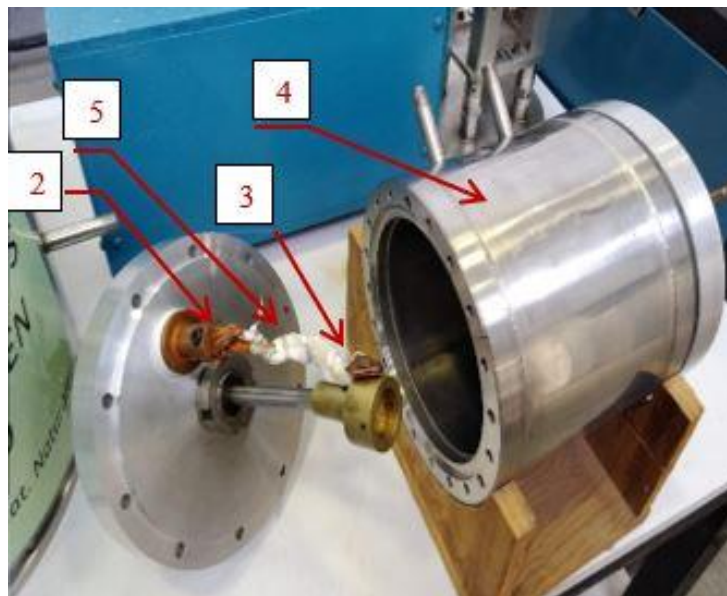
3.2. Fusión por arco eléctrico

El LCMN cuenta ya con una cámara diseñada para este proceso de fusión por arco eléctrico, como se muestra en la figura 14, la cual está adaptada para la síntesis de nanotubos de carbono.

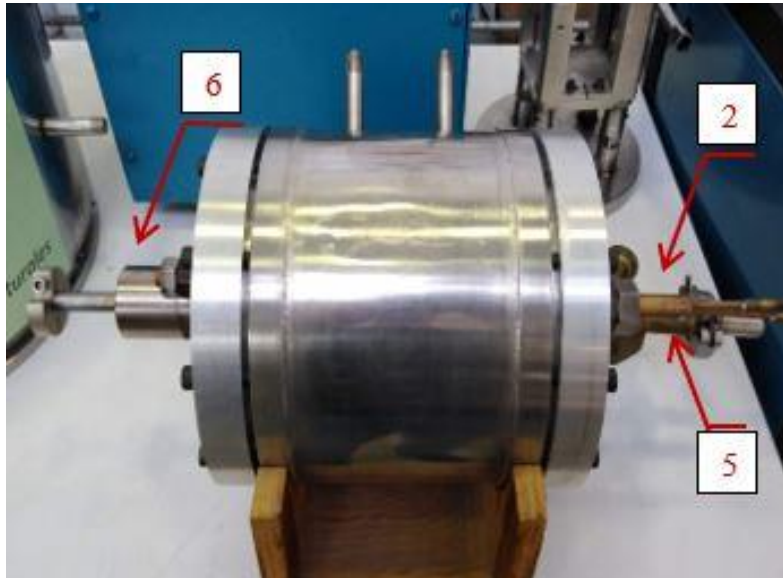
Según testimonios propios de los operadores, durante la experimentación surgieron diversos problemas que afectaron en la calidad de los productos y en el rendimiento del proceso. El Dr. Orozco, jefe del LCMN y director del proyecto para fabricación de nanotubos de carbono mencionó que, durante los experimentos, no se tuvo un control del punto donde se generaba el arco, debido a que no era posible visualizar al fenómeno desde el exterior, además, el método de aislamiento eléctrico de los electrodos no era el adecuado.

Es por lo anterior, que se pretende realizar mejoras y modificaciones al elemento con el objetivo principal de hacer más amigable y seguro al proceso y quitar la particularidad con el que fue diseñado originalmente (síntesis de nanotubos).

Los elementos principales con los que cuenta esta cámara se muestran y señalan en la figura 14 a y b.



a)



b)

Figura. 14. a) vista en perspectiva; b) vista frontal, cámara para fusión por arco eléctrico donde se muestran los elementos que la componen.

Elementos principales de la cámara son:

1. Fuente de alimentación y sistema de control, no visible en la imagen.
2. Electrodo.
3. Crisol.
4. Cámara con camisa refrigerada
5. Cableado y accesorios necesarios.
6. Pasamuros de aproximación de uno de los electrodos

Las características técnicas de esta cámara son:

- ♣ Material: Acero Inoxidable 304.
- ♣ Volumen: 4 000 cm³ aprox.
- ♣ Dimensiones totales aproximadas (sin base): Alto 13 cm, ancho 20 cm.
- ♣ Tipo de cierre: Cierre mecánico de tornillos con sello metálico.
- ♣ Espacio de camisa para refrigeración: 20 mm

Al igual que en apartado anterior, a continuación se muestra una tabla con las principales necesidades, surgidas durante las discusiones con los usuarios que realizaron los experimentos, que se proponen para lograr mejorar al proceso. Dichas necesidades son jerarquizadas tomando en cuenta los factores descritos en el capítulo 2.

Necesidad	Relación de importancia		
	Poca	Mediana	Mucha
Miras para observación al interior			✕
Ergonomía		✕	
Seguridad			✕
Bajo costo		✕	
Base aislante			✕
Reposicionamiento de pasamuros			✕
Medidores de presión y temperatura			✕

Tapa de acceso rápido			✗
Entradas y salidas de gases			✗
Rediseño de crisol			✗
Refrigeración para crisol	✗		
Refrigeración para cámara		✗	
Portabilidad	✗		
Utilización de materiales especializados	✗		
Visualmente atractivo	✗		
Producciones con gran volumen	✗		
Rediseño de electrodos			✗
Válvula de seguridad para alta presión			✗

Tabla 3. Relación de importancia para necesidades surgidas en cámara para arco eléctrico

Como se observa en la tabla 3, las necesidades con mayor importancia son las que atienden a modificaciones hechas al cuerpo de la cámara, es por ello que se decidió atender a estas primeramente, para poder aumentar la seguridad y la eficiencia en el proceso, los demás aspectos como portabilidad, ergonomía y aspectos visuales pueden ser atendidos posteriormente, en el proceso de diseño.

A continuación se enlistan y se muestran en la figura 15, las necesidades mencionadas anteriormente.

1. **Mirilla de observación, ausente.** Para poder observar desde el exterior de una manera segura el comportamiento y aplicación del arco eléctrico.
2. **Base aislante.** Es necesario aislar completamente al conjunto del medio y del personal de trabajo, es por ello que se propone la construcción de una base de un mejor material aislante.
3. **Rediseño de electrodos y crisol, no visible en la imagen.** Como se mencionó en el capítulo anterior, se modificará completamente a los elementos donde se realizará el arco eléctrico, adaptando un electrodo de tungsteno, utilizado en el proceso GTAW.
4. **Reposicionamiento de pasamuros.** Es necesario reubicar al pasamuros para lograr un óptimo movimiento dentro del recinto y controlar el arco eléctrico manualmente.
5. **Tapa de acceso rápido, ausente.** Para poder acceder a la muestra de una manera más rápida y fácil; siendo capaz de realizar operaciones donde se requiera una rápida extracción del material fundido.
6. **Medidores de presión y temperatura, ausentes.** Para tener un control de la presión manométrica o vacuométrica dentro del recinto, además, conocer y registrar la temperatura interna de la cámara.
7. **Entrada y salida de gases, ausentes.** Ya sea para extraer el aire de la cámara o agregar una circulación continua de gas.
8. **Válvula de seguridad para alta presión, ausente.** Este elemento es el encargado de aliviar la presión interna en caso de incidentes dentro de la cámara, evitando en el peor de los casos, que esta estalle.

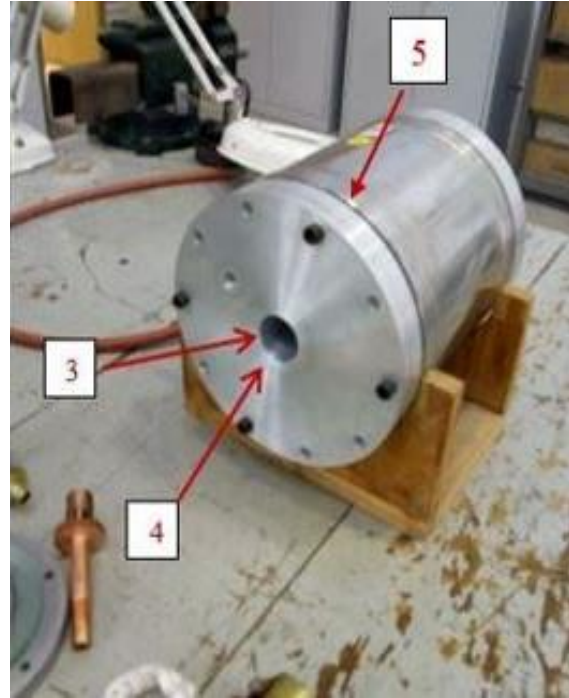
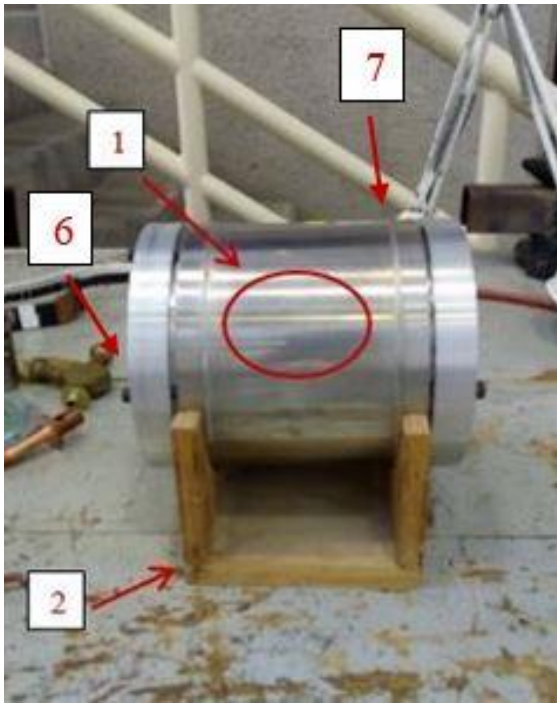


Figura. 15. Identificación de los principales problemas de diseño presentes en la cámara.

CAPÍTULO 4

Cámara para fusión y calentamiento por medio de inducción electromagnética

Teniendo en cuenta todas las consideraciones presentadas en el capítulo anterior, se pueden presentar ahora, las modificaciones y adaptaciones que se proponen para resolver los problemas que se presentan para cada caso. Para ello, en los siguientes dos capítulos se muestra la digitalización 3D de cada cámara (antes de ser intervenidas), para poder tener una manipulación total de estas, así como también de sus respectivos elementos que se pretenden adicionar o cambiar. Las especificaciones técnicas para cada elemento se describen en los apartados correspondientes.

Todos los modelos y planos digitales que se muestran a continuación se realizaron en software CAD, de la familia de Autodesk™ (Inventor® y AutoCAD®) y Solid Works® conjuntamente.

4.1. Propuestas para modificaciones y adaptaciones

Para esta cámara, se propusieron en el capítulo anterior, 6 reformas primordiales que atienden a las principales problemáticas que se discutieron en el mismo capítulo, por lo tanto, a continuación se muestra una digitalización de la cámara que se dispone (véase figura 16), así como también, se presentan gráficamente a los elementos que se pretenden adicionar o cambiar al cuerpo de esta cámara.

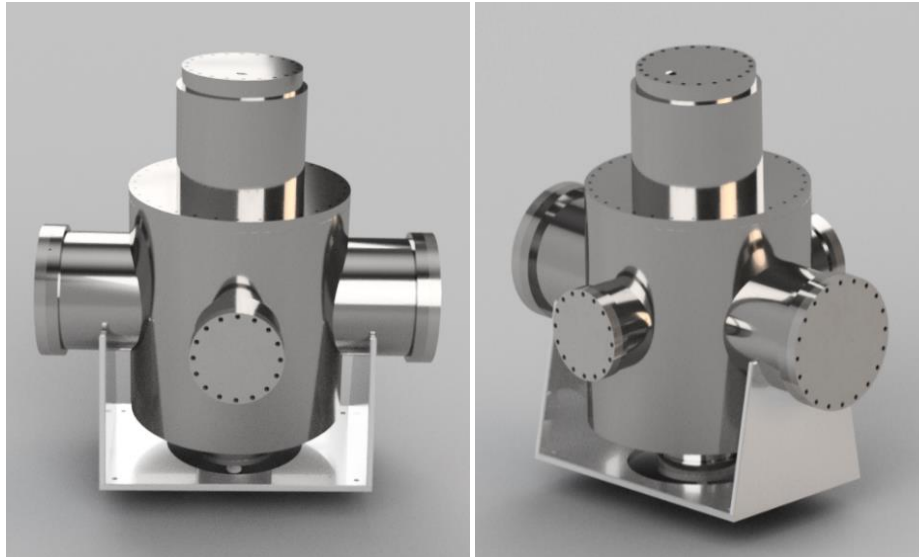
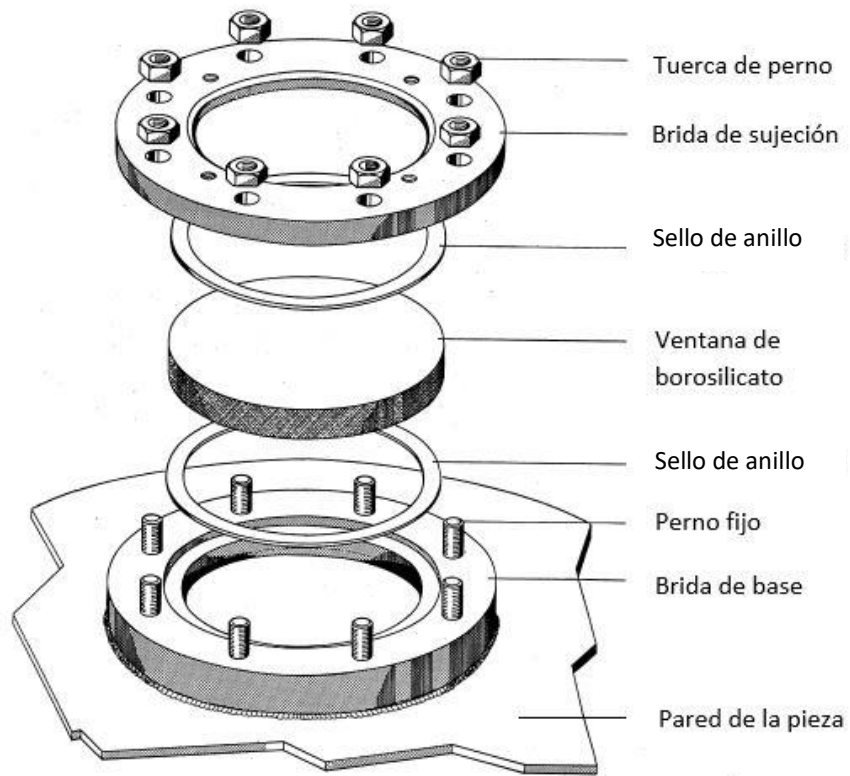


Figura 16. Vista frontal y en perspectiva de la cámara que se dispone en el LCMN (sin modificaciones).

4.1.1. Mirilla para observación

En la figura 17 a y b, se muestra una fotografía y un modelo digital de la mirilla que se propone para la instalación en el cuerpo del elemento. Las especificaciones técnicas se muestran junto con las imágenes.





(c)

Figura 17. a) modelo virtual; b) fotografía ilustrativa; c) vista de despiece de mirilla elegida para la instalación

Se decidió seleccionar este tipo de mirilla debido a que las intervenciones técnicas para la instalación (maquinados, cortes, etc.) son mínimas, ya que solamente se necesita ubicar por medio de soldadura a la brida de base y atornillar la brida de sujeción de ventana. (véase figura 17 c y 18)

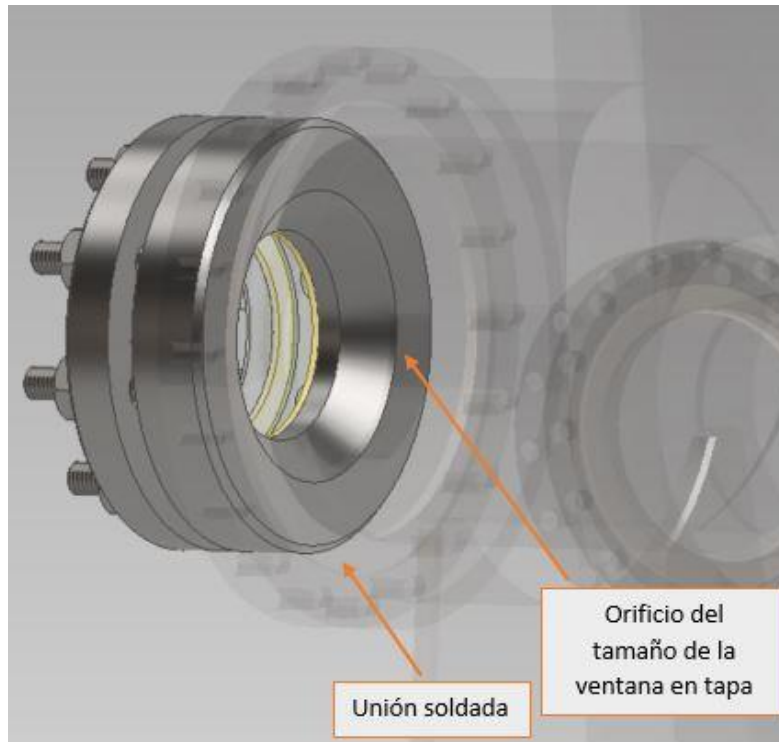


Figura 18. Instalación de mirilla en una de las tapas de la cámara.

Este accesorio está fabricado bajo la norma DIN 28120 utilizada para ventanas de recipientes a alta presión. [20] Las especificaciones técnicas del modelo DN 50 son:

- ♣ Material del cuerpo: Acero Inoxidable 305
- ♣ Sello de anillo: C-4400^{®a}

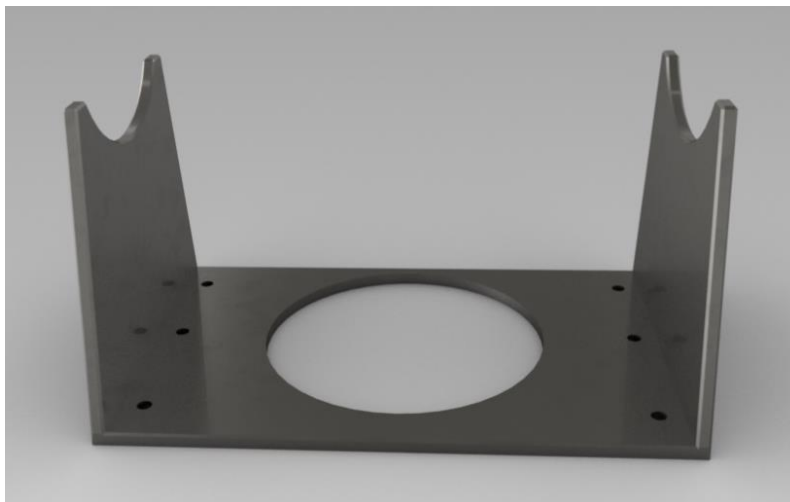
^a El sello C-4400 se refiere al nombre registrado por la compañía KLINGER para la junta libre de asbestos basada en aramida con aglutinantes de goma nitrilo. Véase anexo 6.[22]

- ♣ Ventana: Vidrio de borosilicato endurecido según Din 7080.
- ♣ Rango de presión: 10-16 bar (145-232 psi).
- ♣ Temperatura máxima: 280°C (para uso con vidrio de borosilicato).
- ♣ Dimensiones totales aproximadas: Ancho 165 mm, alto 50 mm.

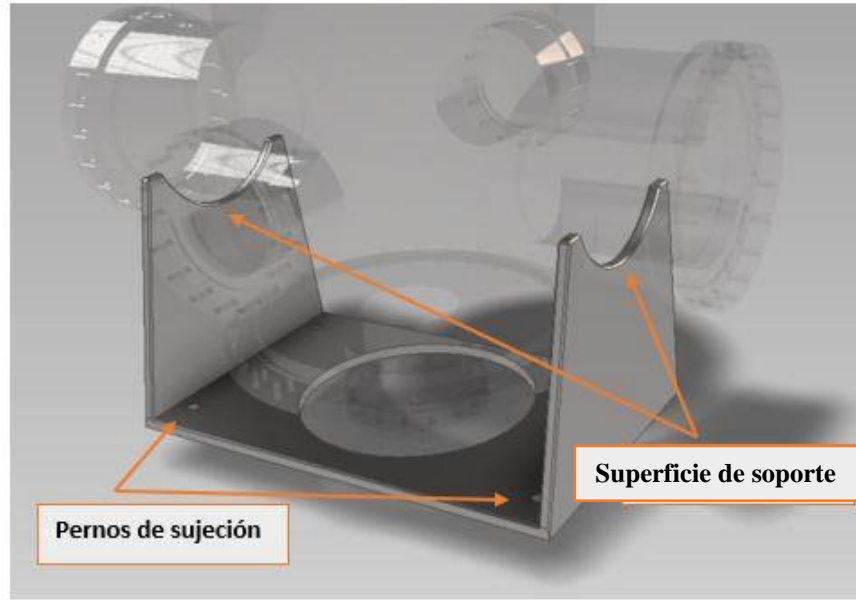
Para más información véase anexo 2.

4.1.2. Base de apoyo y sujeción

Como puede verse en la figura 13, la cámara no cuenta con ningún tipo de sujeción adecuada, únicamente se asienta sobre un rack fijado a la pared. Por lo tanto se propone la construcción de una base en Acero Inoxidable 304, la cual se ajusta con pernos al rack mencionado y soporta por ajuste a la cámara, como se muestra en la figura 19 b.



(a)



(b)

Figura 19. a) modelo digital de la base propuesta, b) vista de la unión y sujeción de la base con la cámara y el rack respectivamente.

4.1.3. Puerta de acceso rápido

Debido a que para ingresar al interior de la cámara es necesario hacer el desajuste de 32 tornillos, lo cual se refleja en demora de tiempo, cuando se trata de calentamientos sucesivos y en un problema de tiempo cuando se tienen procesos rápidos se decidió proponer la adaptación de una puerta de acceso rápido con palanca de apriete.

Dicha puerta es comercializada por grupo Futura Hnos.® y se muestra en la figura 20, donde puede observarse la apariencia física de esta. Este elemento tiene la ventaja de que se puede instalar únicamente soldando una brida base en la tapa superior de la cámara y ajustándola, por medio de pernos al elemento, como se muestra en la figura 21. Para más detalles técnicos ver anexo 3.

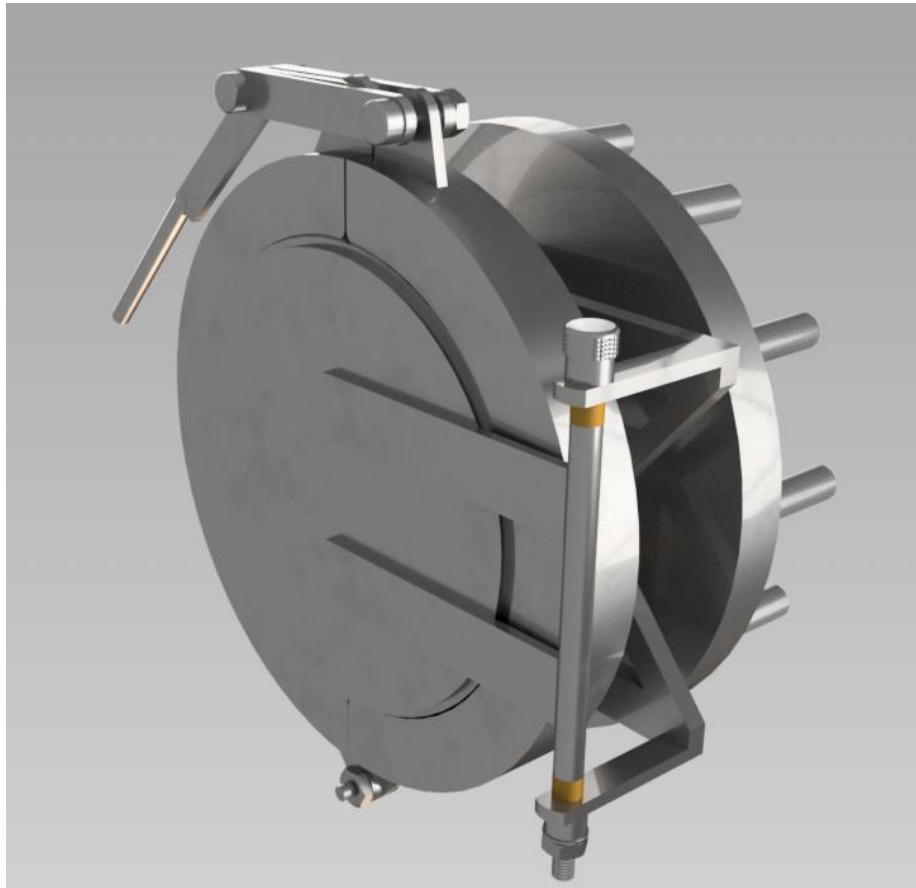


Figura 20. Modelo digital ilustrativo de apariencia física de puerta de acceso rápido.

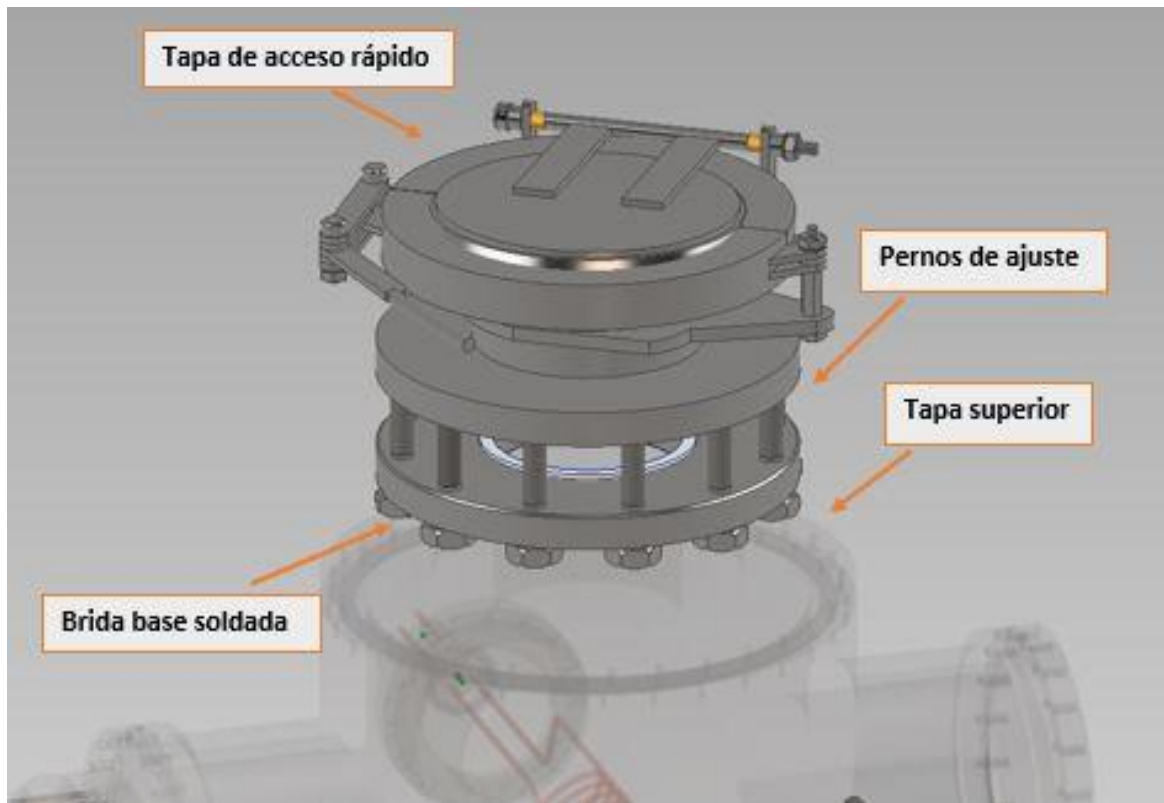
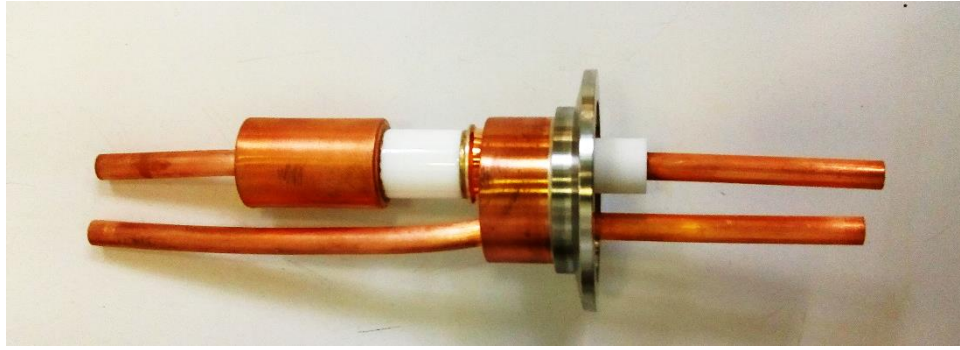


Figura 21. Vista de la unión entre puerta de acceso rápido y cámara para calentamientos.

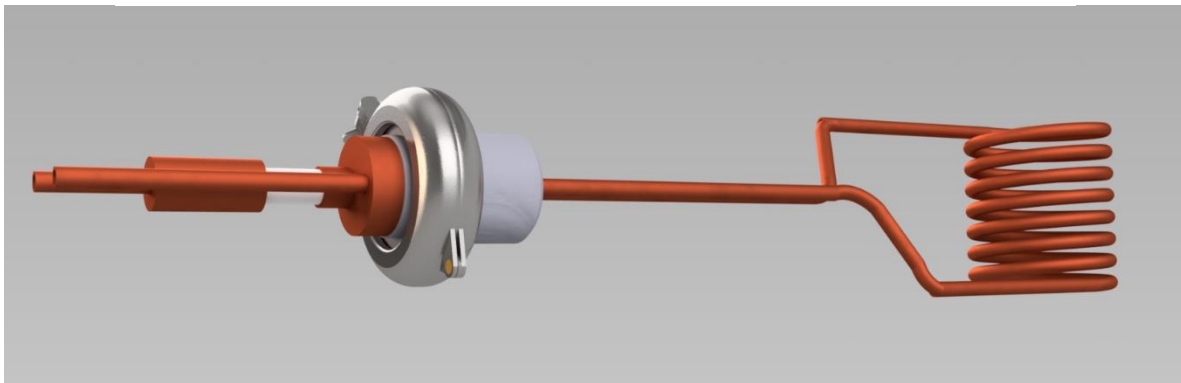
4.1.4. Pasamuros para alta frecuencia

La cámara no serviría de nada si no se realiza la conexión hermetica entre la fuente de alimentación, la bobina de induccion y el recinto aislante del medio.

Debido a que dentro de la cámara se pretende tener una atmósfera controlada (ya sea con medios gaseosos especiales o al vacío) no basta con solamente realizar perforaciones e introducir por ahí al alambre conductor, es necesario realizar una conexión totalmente hermetica para evitar filtraciones o fugas; por lo tanto en la figura 22 se muestra una fotografía ilustrativa del pasamuros que se acomete instalar junto con un modelo digital unido ya a la bobina inductora.



a)



b)

Figura 22. a) Fotografía ilustrativa de pasamuros de alta frecuencia antes de la instalación. b) Modelo digital de pasamuros completo y listo para la instalación.

La instalación de este pasamuros se realiza perforando y soldando una extensión con campana en la tapa lateral de la cámara, y por medio de una junta con brida de apriete que ajusta y fija al resto del elemento, esto para poder llevar a cabo modificaciones a la bobina de inducción, como se menciona en las aplicaciones del apartado 1.2.1.3. La instalación se muestra en a figura 23.

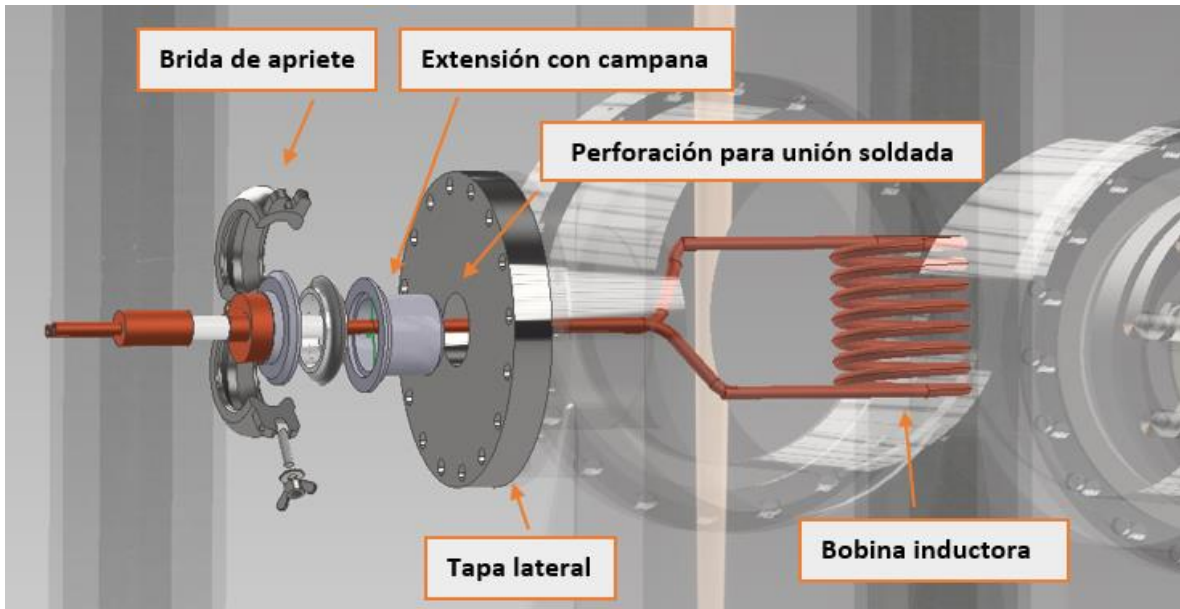


Figura 23. Modelo digital ilustrativo de instalación de pasamuros con bobina de inducción.

4.1.5. Medidores de presión y temperatura

Es necesario la instalación de medidores de presión, tanto manométrica como vacuométrica, para poder tener un buen control de la atmósfera en el interior de la cámara y también, para poder prevenir accidentes debido a altas presiones generadas por reacciones secundarias a la hora del calentamiento. Al mismo tiempo, se debe tener una lectura precisa de la temperatura en el interior de la cámara y en el material, dado que el proceso genera el calor desde el interior del producto y no se presentan procesos de radiación o conducción calorífica. Este punto es el más importante, ya que el objetivo principal del sistema es el calentamiento del material que se proponga a una temperatura controlada.



Figura 24. Imagen ilustrativa de medidor de presión positiva y negativa seleccionado (la apariencia externa es la misma para los dos casos).

Debido a lo anterior, se propone la instalación de dos medidores de presión en la tapa lateral de la cámara (vease figura 26), uno para presión positiva y otro para presión negativa. Dichos medidores son comercializados por el grupo OMEGA™ y se muestran en la imagen 24. Las especificaciones técnicas de los modelos PGS-25L-200 (manómetro) y PGS-25L-30V (vacuómetro) se comparten para los dos casos y se muestran a continuación.[21]

- ♣ Temperatura máxima de operación: 85°C.
- ♣ Carcasa: Acero inoxidable.
- ♣ Ventana: policarbonato con sello de silicona.
- ♣ Ajuste: 316ss, ¼ NPT
- ♣ Tamaño de pantalla: 2 ½ y 3 ½
- ♣ Presión máxima: 0-200 psi y 0/-15 psi.

Para obtener lecturas de temperatura se proponen dos clases de dispositivos, en primer lugar, una sonda unida a un termopar tipo K instalada en una de las paredes de la cámara (vease figura 26) para obtener mediciones del entorno interno y evitar el sobrecalentamiento de las paredes del recinto, y en segundo lugar, un pirometro para registrar la temperatura del material que se calienta directamente. En la figura 25 se muestran imágenes ilustrativas de los dispositivos mencionados.



Figura 25. Imágenes ilustrativas de los instrumentos para medición de temperatura, termocupla a la derecha y pirómetro digital a la izquierda.

Las características técnicas de los dispositivos mostrados anteriormente, según los datos proporcionados por el fabricante, son las siguientes:

Para la sonda con termopar.

- ♣ Rango de temperatura: -50/1300 °C
- ♣ Termopar: Tipo K de un canal.

Para el pirómetro.

- ♣ Rango de temperatura: $-50/\sim 1500\text{ }^{\circ}\text{C}$
- ♣ Precisión: $\pm 2\%$ en temperaturas arriba de $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $\pm 4\%$ en temperaturas por debajo de $0\text{ }^{\circ}\text{C}$
- ♣ Proporción de distancia de la mira laser: 30:1
- ♣ Tiempo de respuesta: $<250\text{ ms}$

Para mas detalles ver anexo 4.

Se decidio proponer estos dispositivos que permiten la medicion de temperaturas altas (por arriba de $1\ 000\text{ }^{\circ}\text{C}$) debido a que la camara esta diseñada para soportar el calor generado por la fuente de induccion electromagnetica la cual es capaz de alcanzar temperaturas de alrededor de $3\ 000\text{ }^{\circ}\text{C}$ y por lo tanto, los dispositivos para medicion deben ser capaces tambien, de resisitir esta temperatura.

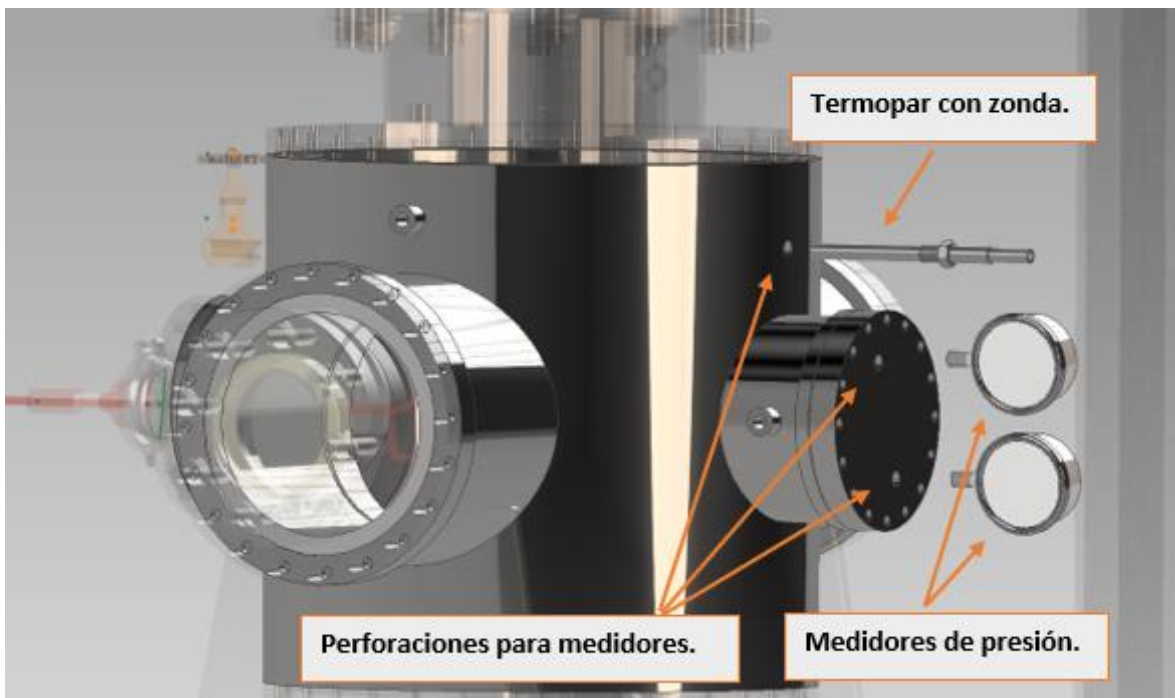


Figura 26. Imagen ilustrativa de la disposición de los elementos de medición (presión y temperatura) en la cámara para calentamientos.

En la figura 26 se muestra en el modelo digital de la cámara, la instalación de los elementos mencionados anteriormente. En este caso, la medición de temperatura de la muestra a calentar se realizará manualmente desde el exterior, a través de la mirilla de observación instalada.

4.1.6. Entrada y salida de gases

Como ya se ha mencionado en capítulos anteriores, una de las aplicaciones con las que contará esta cámara, y las demás, es la de controlar la atmósfera en el interior de la misma, ya sea por medios inertes (vacío o gases inertes) o con medios reaccionantes (oxidantes, carburantes etc.). Debido a esto es necesaria la instalación de una entrada y una salida para los gases del interior, ya sea para poder realizar operaciones de despresurización, purga y recirculación de gases.

Debido a lo anterior, se propone la instalación de una extensión con campana para brida de apriete y una válvula de paso común para gases dispuestas en la tapa inferior y en el cuerpo de la cámara respectivamente (véase figura 27).

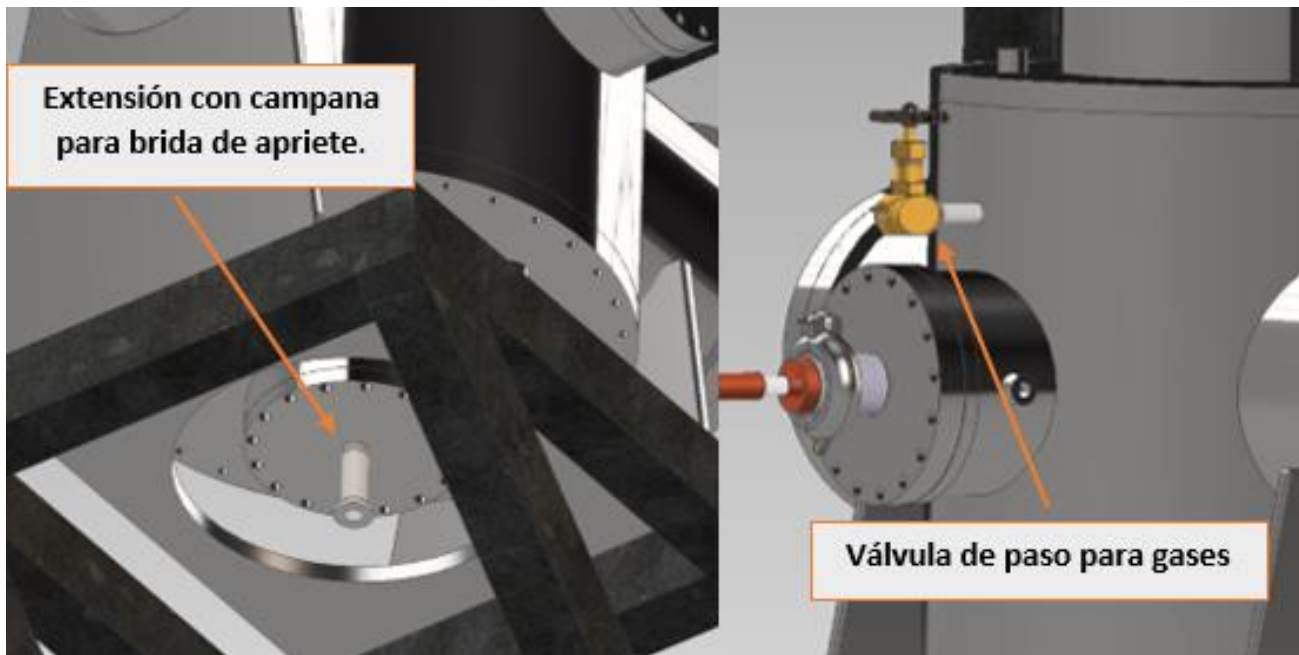


Figura 27. Imágenes ilustrativas de la disposición de la entrada y salida de gases de la cámara; vista inferior (izquierda) y vista lateral (derecha).

4.1.7. Soporte para crisol

La sujeción del crisol puede realizarse directamente sobre la bobina de inducción, asentándolo sobre esta, solo cuando no se alcancen temperaturas muy altas, debido al comportamiento térmico del cobre (hasta 300 °C), pero en casos donde el crisol sea más pequeño o se quiera calentar directamente al material se puede utilizar un soporte sencillo como se muestra en la figura 28.

Dicho soporte se fabricará de aluminio 3003 (según la norma AAI) [25] para la base y de alumina para el asiento, ver figura 28. El aluminio 3003 se utiliza para evitar que la inducción se propague también por el soporte y el asiento de alumina, para soportar las temperaturas que llegasen a alcanzar los elementos dentro de la cámara.

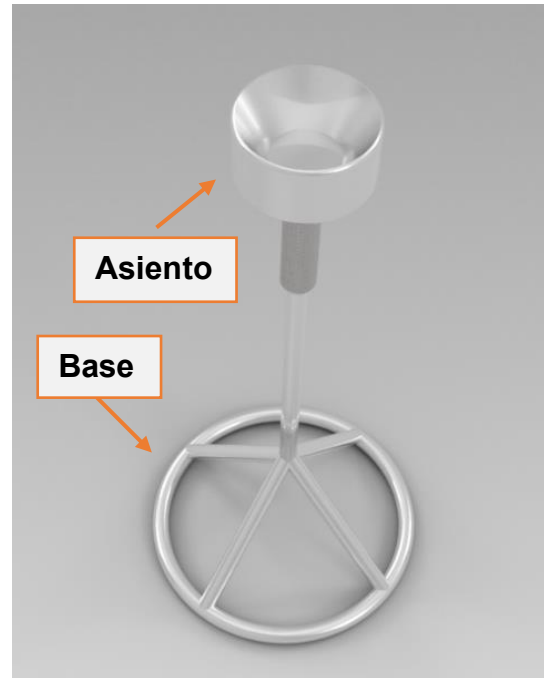
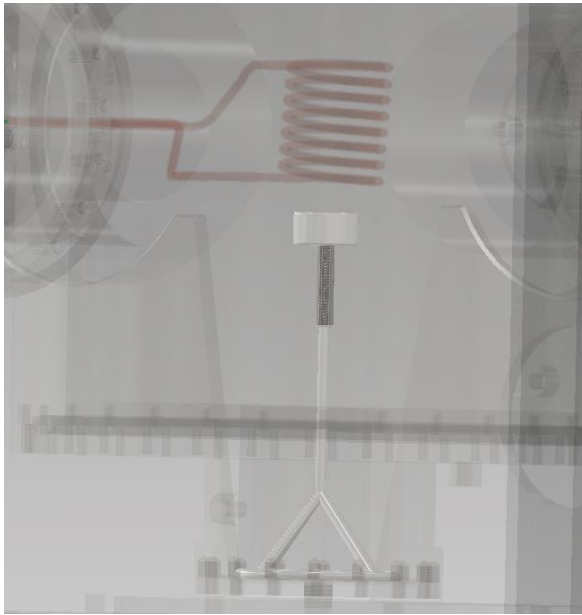


Figura 28. Modelo ilustrativo de base para crisol. Disposición dentro de la cámara a la derecha y apariencia externa a la izquierda

4.1.8. Válvula de seguridad para alta presión

Para aumentar la seguridad de la cámara y del proceso, es necesario la incorporación de una válvula de seguridad para el alivio de presión, en casos donde se presente una subida descontrolada de ésta.

Se propone la instalación de una válvula de seguridad con sobrepresión de 10%, debido a que éstas son de más fácil acceso en el mercado. Para poder seleccionar la adecuada, el análisis se basó en el gráfico mostrado en la figura 29, donde se muestra los rangos de presión de tarado (la cual se utiliza para clasificar a dichas válvulas) y presión de alivio [26].

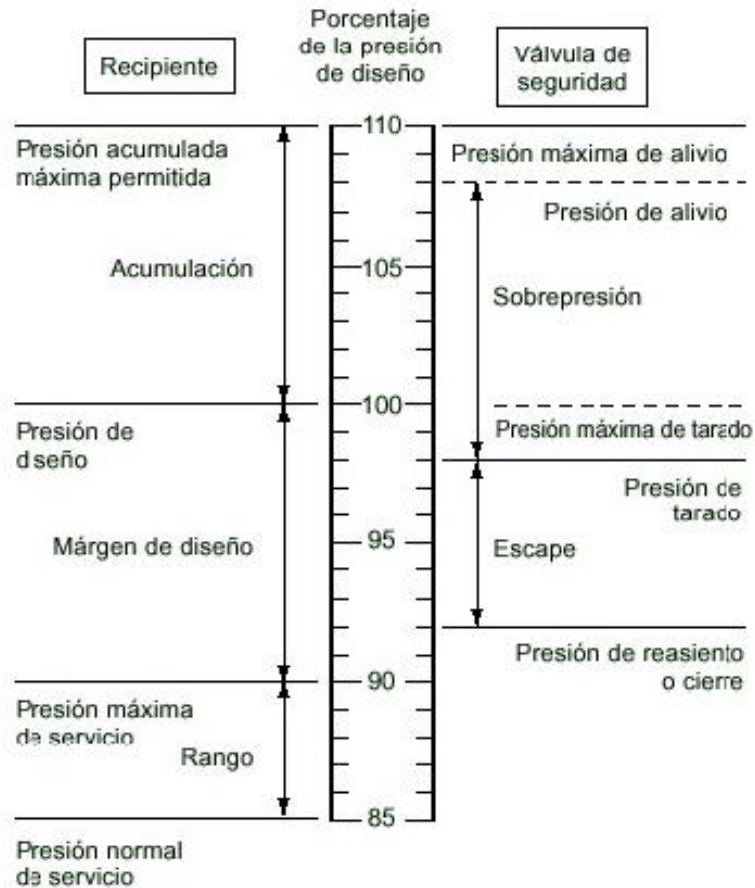


Figura. 29. Régimen de presiones para una válvula de seguridad con sobrepresión del 10% [26]

Para nuestro caso se tienen los siguientes parámetros:

- ♣ Presión normal de servicio: 1 atm – 6.8 atm (15 psi – 102 psi)
- ♣ Presión máxima de servicio: 7.2 atm (108 psi)
- ♣ Presión de diseño: 8 atm (120 psi)

Con estos datos es posible calcular la presión aproximada de tarado de la válvula de seguridad. Cabe mencionar que la presión de servicio y la presión de diseño fueron propuestas por el diseñador, tomando en cuenta la capacidad de los equipos neumáticos disponibles.

Conociendo que la presión de tarado de la válvula de seguridad equivale a un 98% de la presión de diseño de la cámara se tiene entonces:

$$P_{Tar} = \left(\frac{8 atm}{100}\right) \left(\frac{98}{1}\right) = 7.8 atm \quad \dots (7)$$

Se tiene entonces una presión de tarado ideal de 7.8 atm (117 psi). La válvula seleccionada se muestra en la figura 30 junto con la instalación en la cámara.

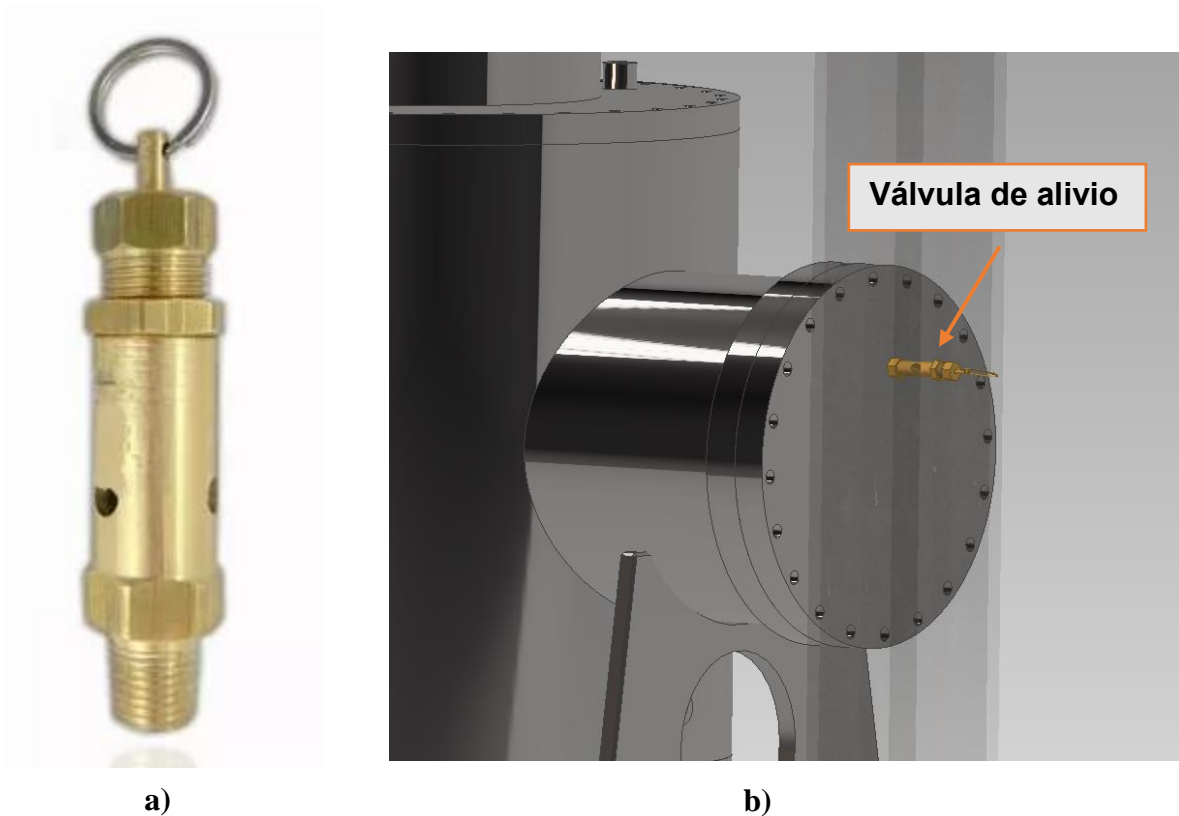


Figura. 30. a) imagen ilustrativa de válvula de alivio de presión; b) instalación en cámara

Las características técnicas de este elemento son:

- ♣ Presión de tarado: 120 psi
- ♣ Ajuste: ¼ "NPT
- ♣ Cuerpo: Latón
- ♣ Fabricante: Medina; modelo MC-VSRL14120/14200

4.2. Modelos digitales de prototipo final

Teniendo en cuenta los elementos que se pretenden modificar o reemplazar, mostrados en los puntos anteriores, se presentan a continuación los modelos digitales ilustrativos de la cámara y del sistema completo de fusión por inducción electromagnética con atmosfera controlada, así como también, se muestra un diagrama de despiece de la cámara, esto para poder visualizar mejor a todos los elementos que la componen.

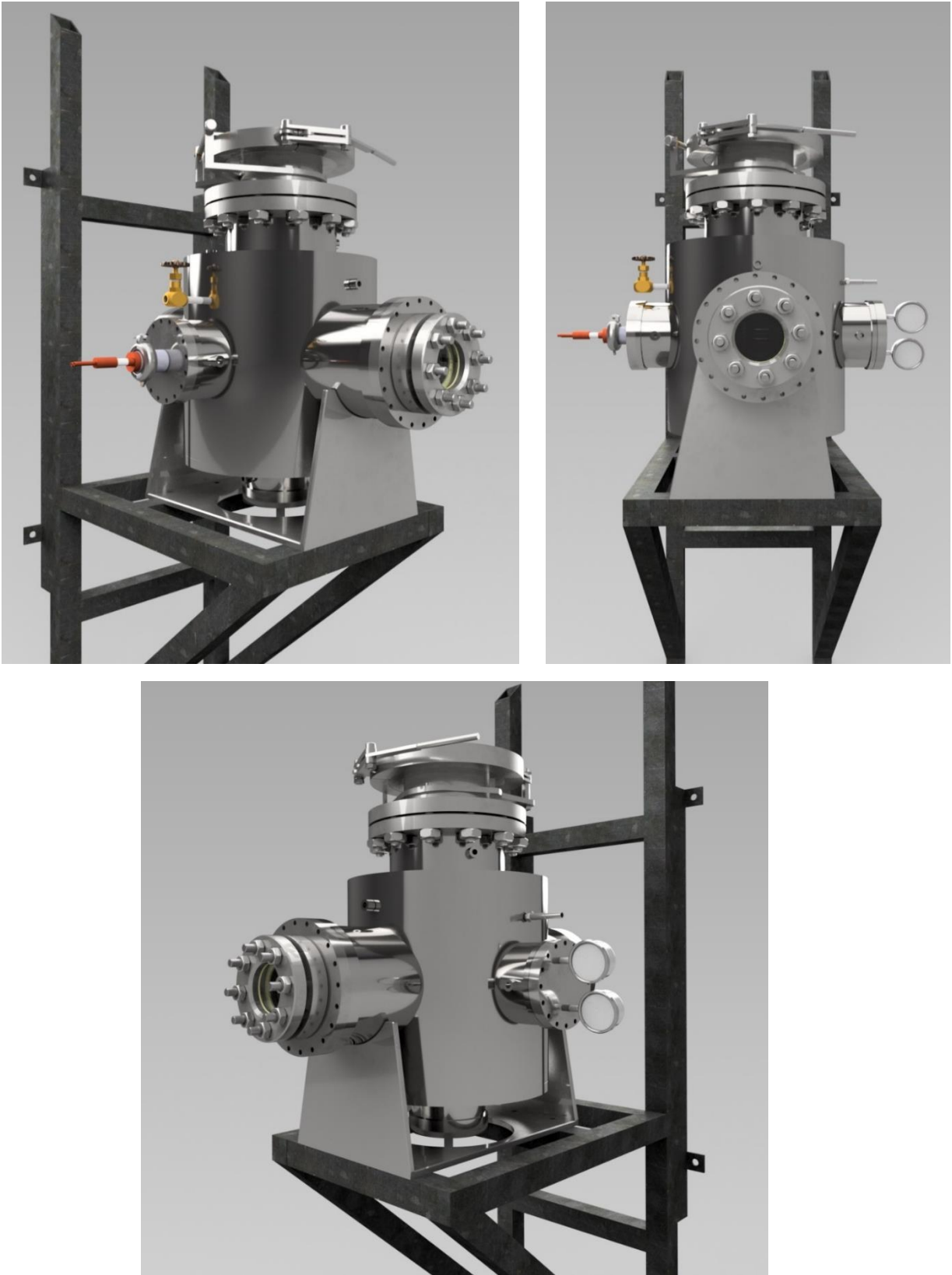
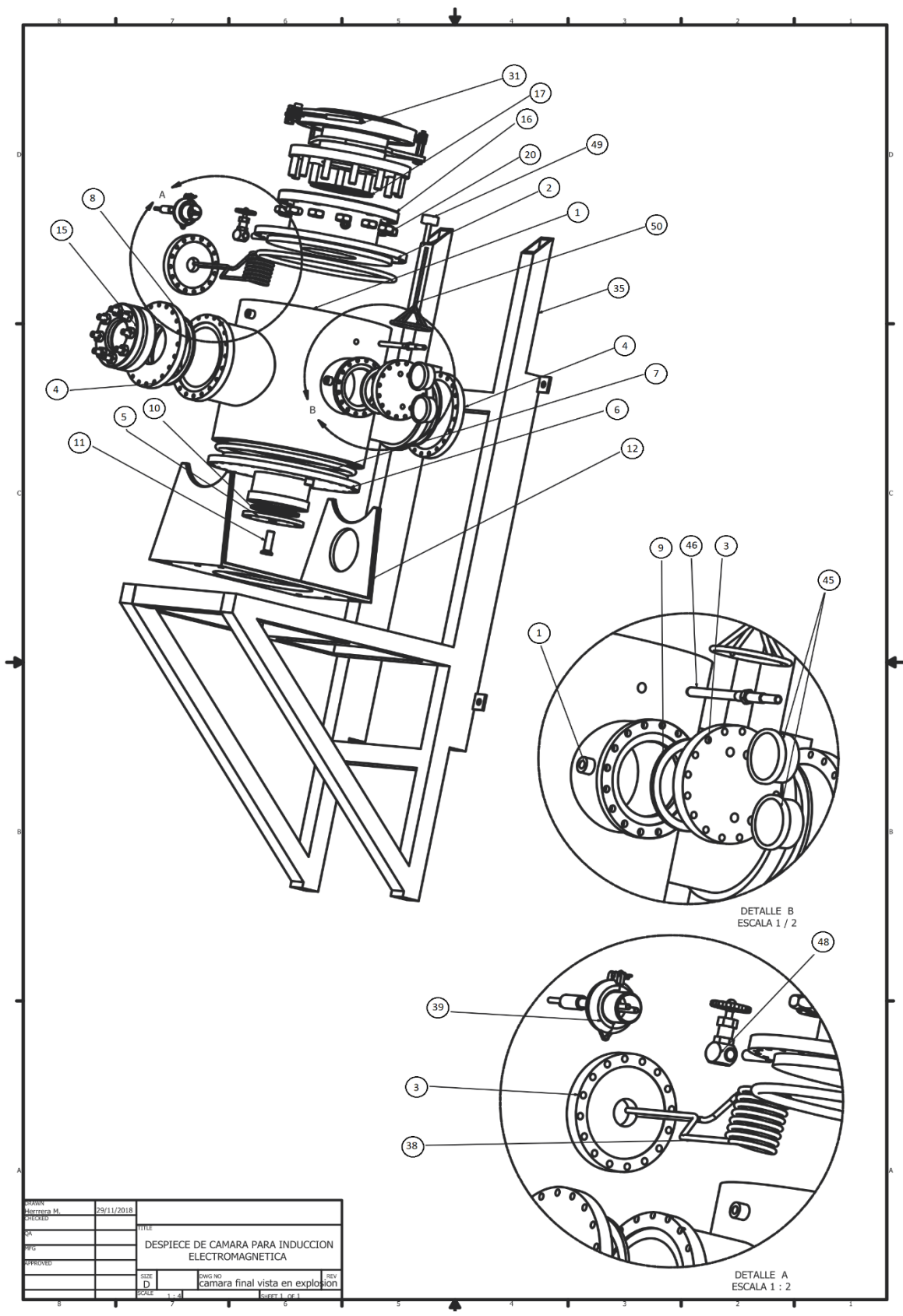


Figura 31. Diferentes vistas de modelo ilustrativo de prototipo final.



DESIGN	Herrera M.	29/11/2018		
CHECKED				
DATE			TITLE	
BY			DESPIECE DE CAMARA PARA INDUCCION ELECTROMAGNETICA	
APPROVED				
	SIZE	DWG NO	REV	
	D	camara final vista en explosion		
	SCALE	1:1	Sheet 1 of 1	

Figura 32. Diagrama de despiece de prototipo final de cámara para inducción electromagnética

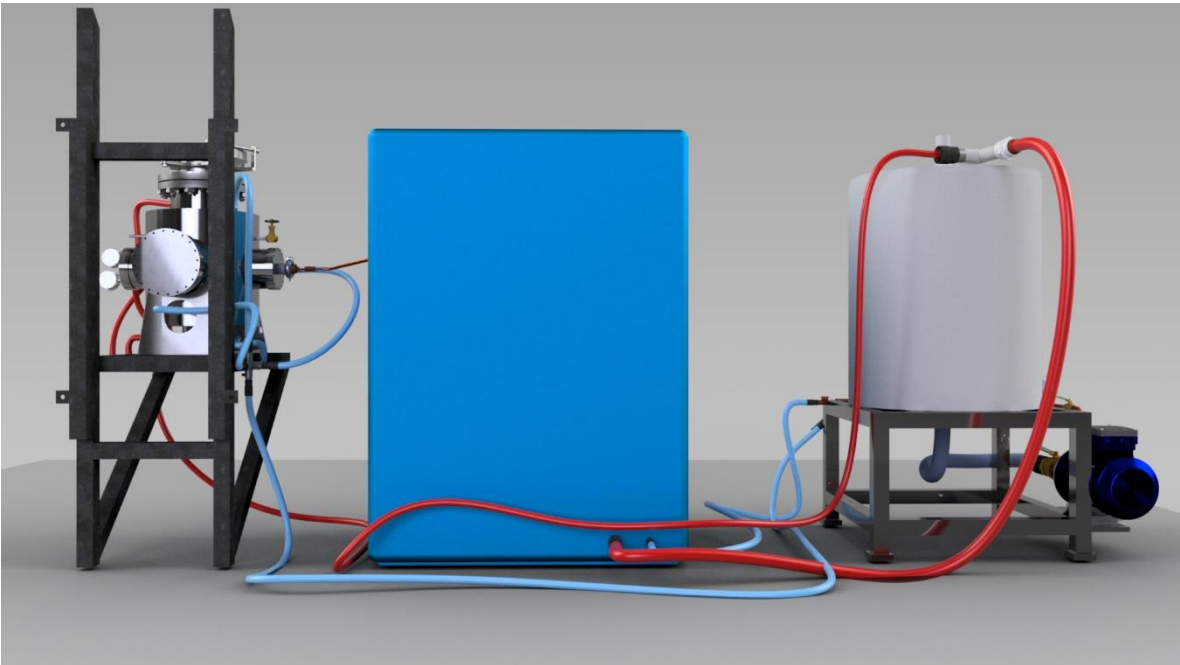
LISTADO DE PIEZAS

ELEMENTO	CTDAD	NOMBRE DE PIEZA
1	1	cuerpo central
2	1	tapa superior de camara
3	2	tapas laterales 1
4	2	tapas laterales 2
5	1	tapa inferior
6	1	tapa inferior de camara
7	4	o-ring neopreno
8	2	o-ring varian 2
9	2	o-ring varian 1
10	1	o-ring varian 3
11	1	pasa muros inferior
12	1	base principal
15	1	ventana de observacion
16	1	brida para montar
17	1	o-ring para brida
20	12	tuerca para puerta de acceso rapido
31	1	puerta de acceso rapido
35	1	rack principal
38	1	bobina de induccion
39	1	pasamuros para alta frecuencia
45	2	medidores de presion
46	1	medidor de temperatura
48	1	valvula de paso para gases
49	1	soporte universal para crisol
50	1	base para soporte

Tabla 4. Listado de piezas de cámara para inducción electromagnética.

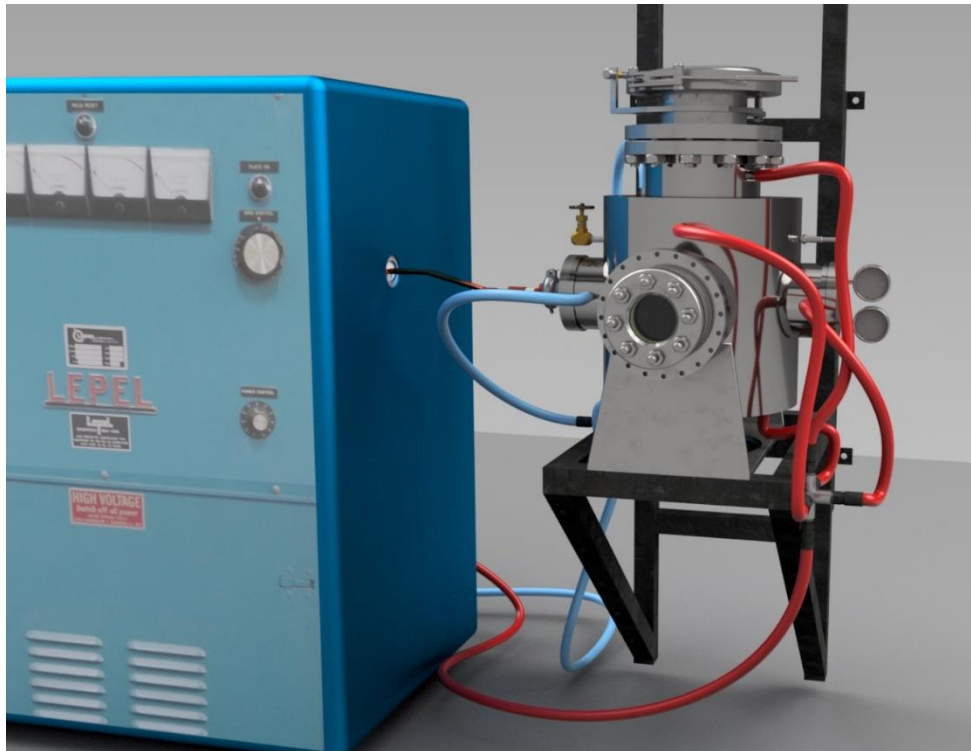


a)



b)

Figura 33. Modelo ilustrativo final del sistema completo de calentamiento y fusión por inducción electromagnética con atmosfera controlada; a) vista frontal y b) vista trasera.



a)



b)

Figura 34. a) Vista en detalle de cámara aislante y b) sistema de refrigeración externo.

CAPÍTULO 5

Cámara para fusión y calentamiento por arco eléctrico

Como se mencionó en el apartado 3.2, se cuenta ya con una cámara destinada para este proceso en la cual, durante la experimentación, se detectaron diversas problemáticas que afectaban la seguridad de los usuarios y la eficiencia del proceso. Debido a esto, a continuación muestran de manera ilustrativa los elementos que se proponen para la resolución de dichos problemas tomando en cuenta los factores descritos en el capítulo 2.

Al final del capítulo se presentan modelos digitales del prototipo final y del sistema en conjunto, dando una perspectiva más clara de la apariencia física del proceso.

5.1. Propuestas para modificaciones y adaptaciones

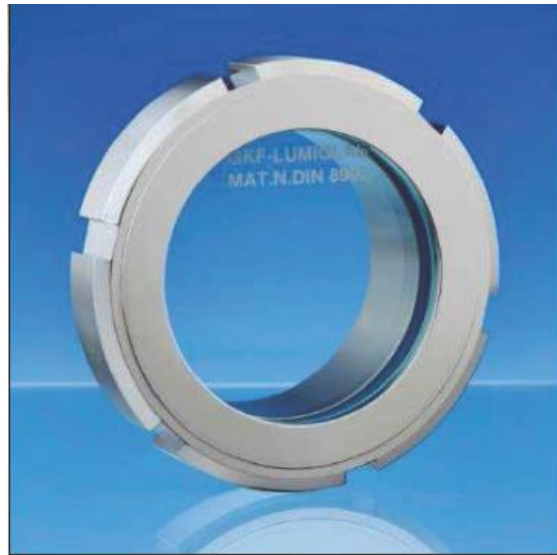
En este caso, la intervención más importante que sufrirá la cámara es el reposicionamiento y modificación de los electrodos donde se llevara a cabo el arco eléctrico. Los demás elementos que se muestran a lo largo del capítulo son accesorios, que bien podrían no incorporarse pero que ayudan a mejorar en gran medida a la calidad del proceso.

5.1.1. Mirilla de observación

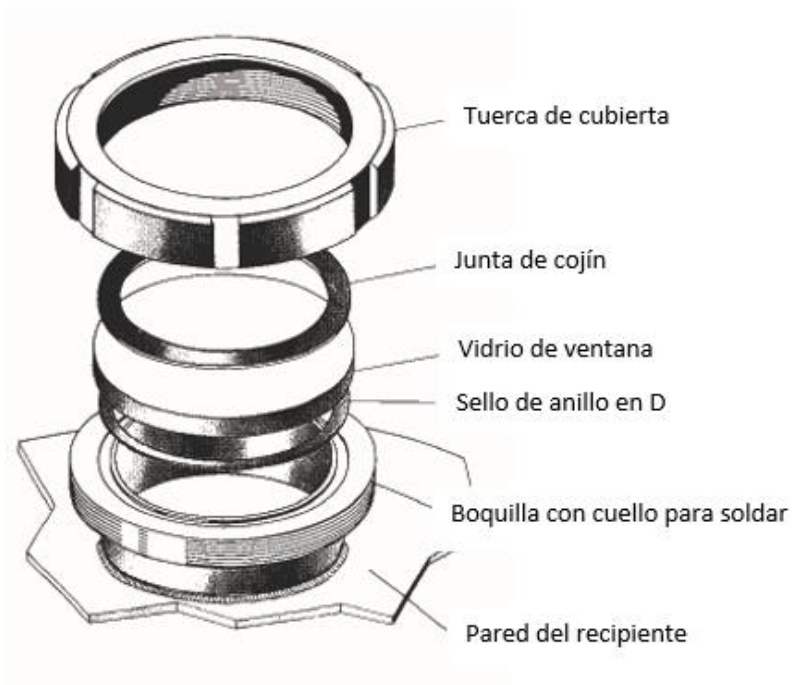
Al igual que para la cámara de inducción electromagnética, se tiene una mirilla fabricada por el grupo Lumiglas® la cual cumple con la norma DIN 28120 (ver anexo 2) utilizada para ventanas de recipientes a alta presión, y que es utilizada en este caso debido a sus características de resistencia a la corrosión y altas temperaturas. Dicho elemento se muestra en la figura 35.

Las características técnicas de la ventana modelo DN 65 son las siguientes:

- ♣ Material del cuerpo: Acero inoxidable 304.
- ♣ Presión máxima: 150 psi.
- ♣ Temperatura Max: 220 °C.
- ♣ Sello de anillo: C-4400®.
- ♣ Ventana: Vidrio de Borosilicato.
- ♣ Dimensiones totales aproximadas: Ancho 112 mm, alto 52 mm.



a)



b)

Figura 35. a) fotografía ilustrativa de mirilla de observacion, b) vista de despiece del elemento.

La instalación de esta mirilla se realiza perforando en el cuerpo de la cámara un orificio, según el tamaño específico del modelo seleccionado y soldando el cuello de la ventana al mismo (véase figura 36.). con esto se garantiza el sello hermético de la cámara y de la camisa de refrigeración al mismo tiempo.

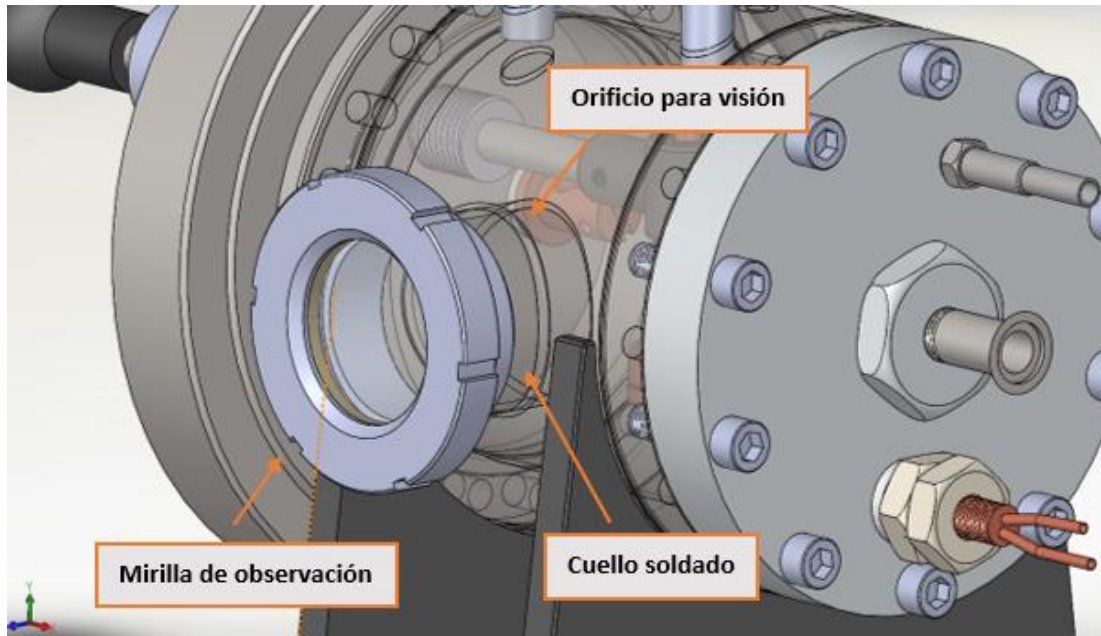


Figura 36. Acoplamiento de mirilla de observación al cuerpo de la cámara.

5.1.2. Base aislante

Debido a que en este proceso se utiliza energía eléctrica a muy alta corriente para producir un arco eléctrico que, si no es debidamente controlado, puede tornarse muy peligroso para el usuario que opere el equipo, es de vital importancia el poder aislar eléctricamente a la cámara de medio, es por ello que se propone reemplazar la actual base de madera donde descansa el elemento, por una de polietileno de alta densidad para mejorar la aislación. En la figura 37 se muestra dicha base aislante instalada en el conjunto.

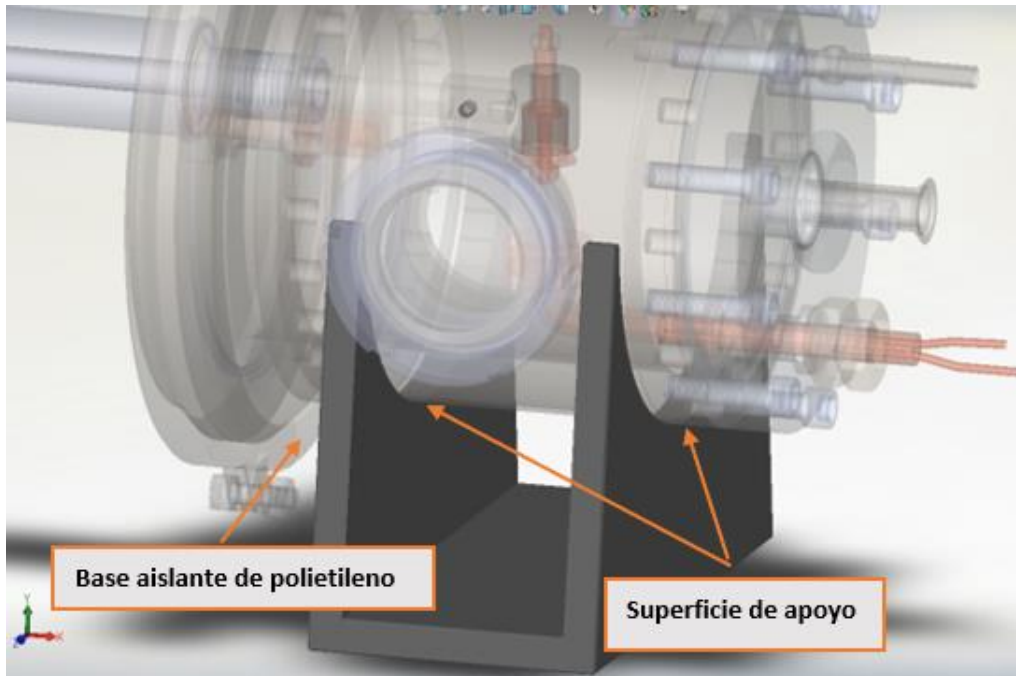
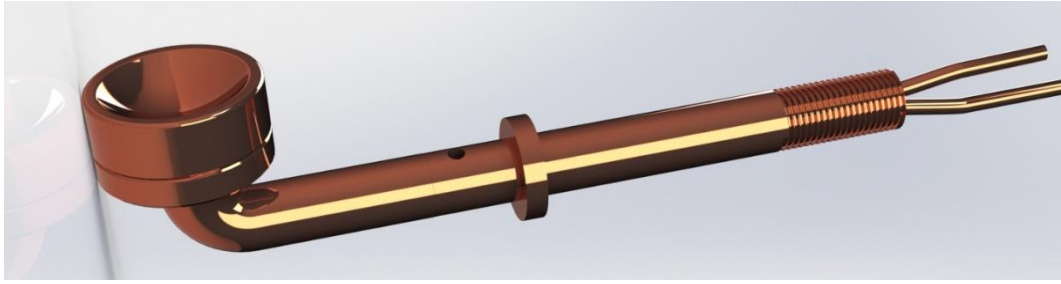


Figura 37. Modelo ilustrativo de acoplamiento de base de apoyo.

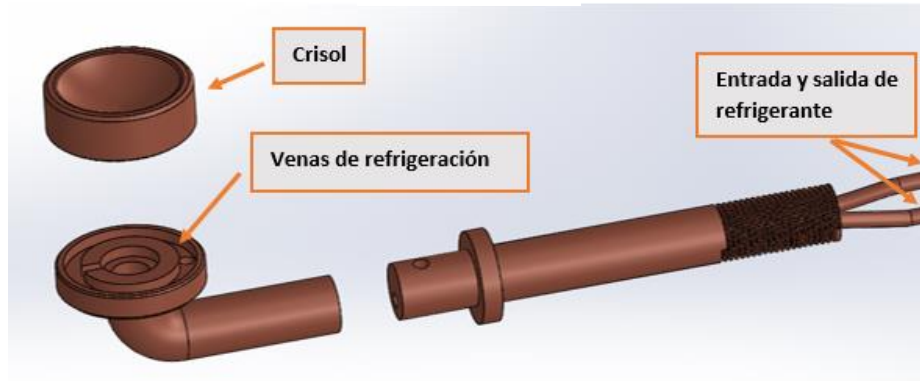
5.1.3. Rediseño de electrodos y crisol

La modificación más importante que se realizará a esta cámara es la del rediseño total de los electrodos y el crisol, así como también del reposicionamiento del pasamuros que permite la manipulación de uno de los electrodos dentro del recinto durante el proceso. En el siguiente apartado se describe a este.

Se propone la construcción de un electrodo de cobre refrigerado con agua, acoplado a un crisol cilíndrico, construido del mismo material y con venas refrigerantes (véase figura 38 b). Esto para garantizar una excelente estabilidad y aplicación del arco y evitar que dichos elementos se sobrecalienten por la alta temperatura.



a)



b)

Figura 38. a) vista en perspectiva de electrodo y crisol; b) despiece del elemento.

El porta electrodo es el encargado de manipular e iniciar el arco, ya que tiene la capacidad de ejecutar movimientos lineales y de rotación, además de que en este se sujetará al electrodo de tungsteno, el cual va conectado a la fuente de alimentación. En la figura 39 se muestran estos elementos.

El cuerpo del porta electrodo está construido de politetrafluoroetileno (teflón), para lograr una buena aislación eléctrica y diseñada para alojar electrodos desde 1.5 mm a 3 mm, esto debido al amperaje máximo que otorga la fuente. [22] Véase anexo 5.

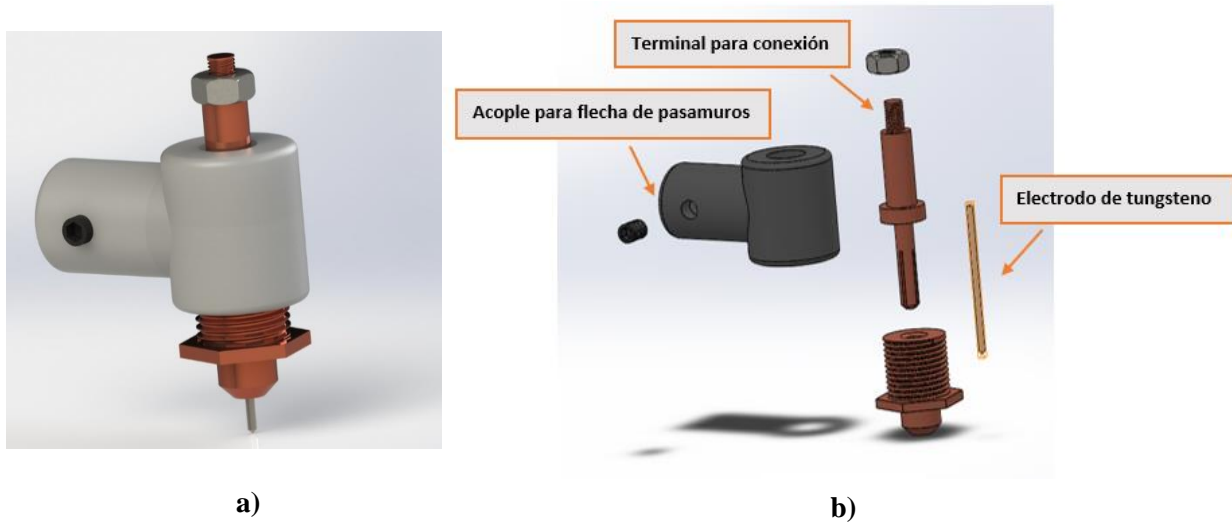
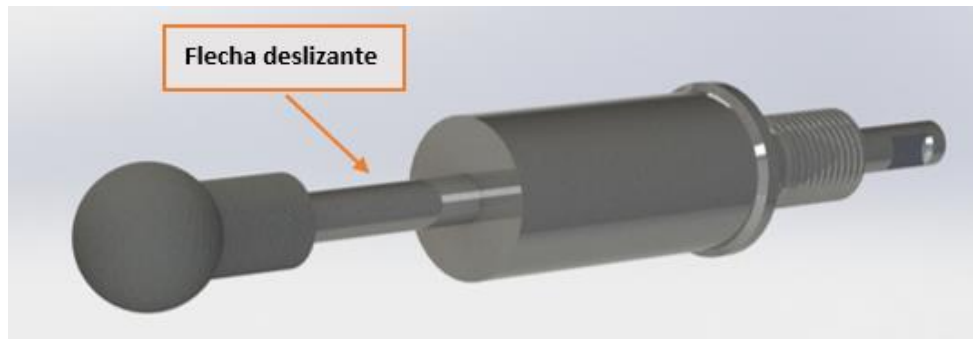


Figura 39. a) modelo ilustrativo de porta electrodo de tungsteno; b) despiece del elemento

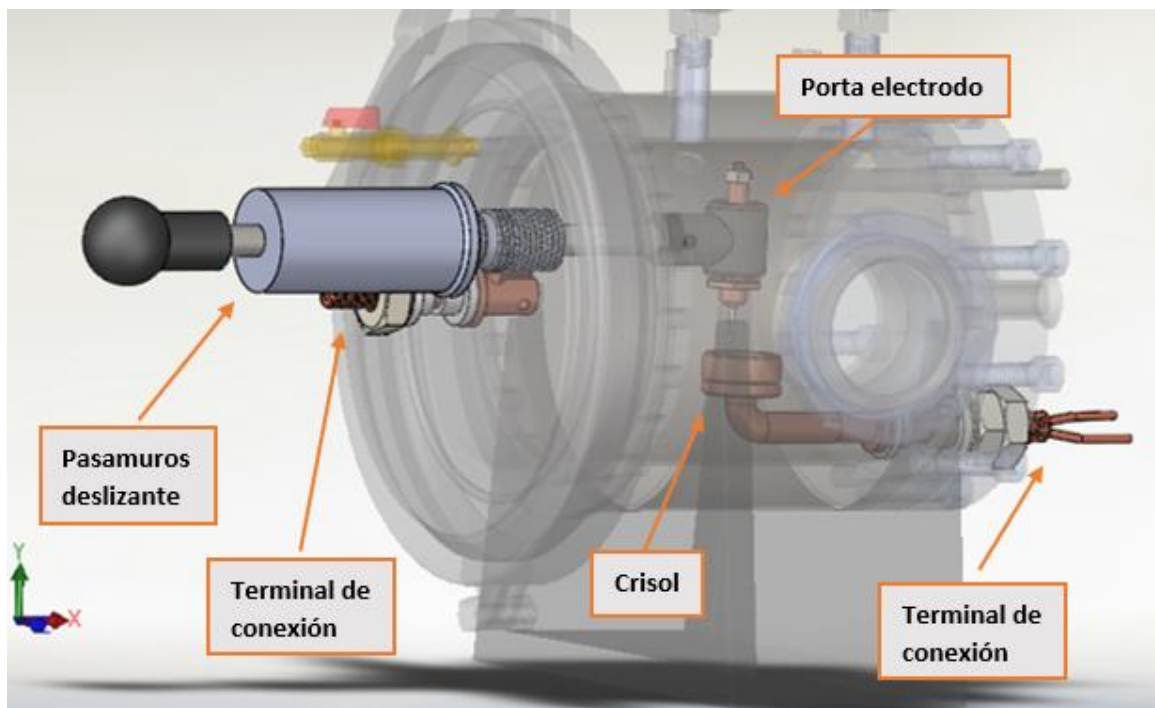
5.1.4. Reposicionamiento de pasamuros

Originalmente el pasamuros deslizante cumplía la función de acercar o alejar a los electrodos uno respecto al otro, sin posibilidad de variar el punto donde se realiza el arco eléctrico.

Es por lo anterior que se propone el reacomodamiento de dicho elemento para lograr, además de movimientos lineales, movimientos de rotación respecto al eje de la flecha deslizante (véase figura 40 a), permitiendo así controlar más eficientemente al arco generado.



a)



b)

Figura 40. a) modelo en perspectiva de pasamuros deslizable; b) acoplamiento y distribución de elementos eléctricos en la cámara.

5.1.5. Tapa de acceso rápido

El acceso al interior del recipiente se puede hacer por cualquiera de las dos tapas que componen a la cámara, mediante el desajuste de 10 tornillos ubicados alrededor de estas (véase figura 36). Realizar este trabajo demora tiempo, cuando

se trata de procesos con varios ensayos u operaciones con extracciones rápidas de la muestra.

Es por lo anterior que se propone la incorporación de una tapa con ajuste de palanca, y sello C-4400[®], del mismo tipo utilizada en la cámara para inducción electromagnética, discutida en el capítulo anterior; con esto se garantiza un acceso más fácil y rápido, libre de herramientas, al interior del recinto.

La puerta discutida es comercializada por grupo Futura Hnos.[®] (véase anexo 3) y se muestra en la figura 41.

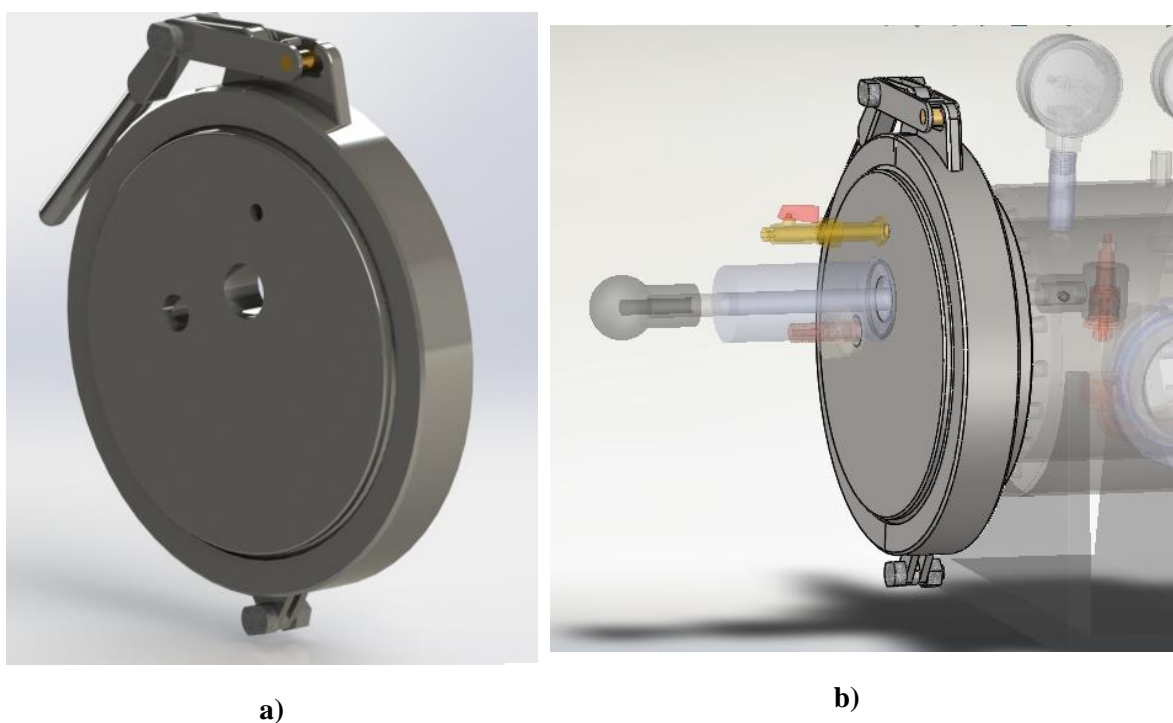


Figura 41. a) modelo en perspectiva de tapa de cierre rápido con palanca (ya con modificaciones): b) acoplamiento de tapa a cuerno de cámara.

5.1.6. Medidores de presión y temperatura

En este proceso se utilizará atmosfera controlada a baja presión en todo momento, es por ello que se pueden utilizar medidores de presión convencionales como los utilizados para la cámara mencionada en el capítulo anterior.

Tanto para presión positiva y negativa, los medidores elegidos son los fabricados por grupo Omega® los cuales se muestran en la figura 42.



Figura 42. Imagen ilustrativa de medidor de presión positiva y negativa seleccionado (la apariencia externa es la misma para los dos casos).

Las características técnicas para el modelo PGS-25L-100 (manómetro) y PGS-25L-30V (vacuómetro) se comparten y se muestran a continuación:

- ♣ Temperatura máxima de operación: 85°C.
- ♣ Carcasa: Acero inoxidable.
- ♣ Ventana: policarbonato con sello de silicona.

- ♣ Ajuste: 316ss, ¼ NPT
- ♣ Tamaño de pantalla: 2 ½ “
- ♣ Presion maxima: 0-100 psi y 0/-15 psi.

Para el caso de la lectura de temperatura, se propone la instalación de un termopar tipo K en el cuerpo del recipiente, para poder monitorear la temperatura en el interior de la cámara en todo momento. Además, se incorpora un pirómetro digital que tomara lecturas directas de la muestra que se someta al arco desde el exterior, por medio de la mirilla de observación.

Ambos dispositivos son los mismos utilizados para la cámara discutida en el capítulo anterior, en donde se especifica las características técnicas de cada uno, así como también su apariencia física (véase apartado 4.1.5).

La disposición sobre el cuerpo de la cámara de los dispositivos de lectura, mencionados anteriormente, se muestran y señalan en la figura 43.

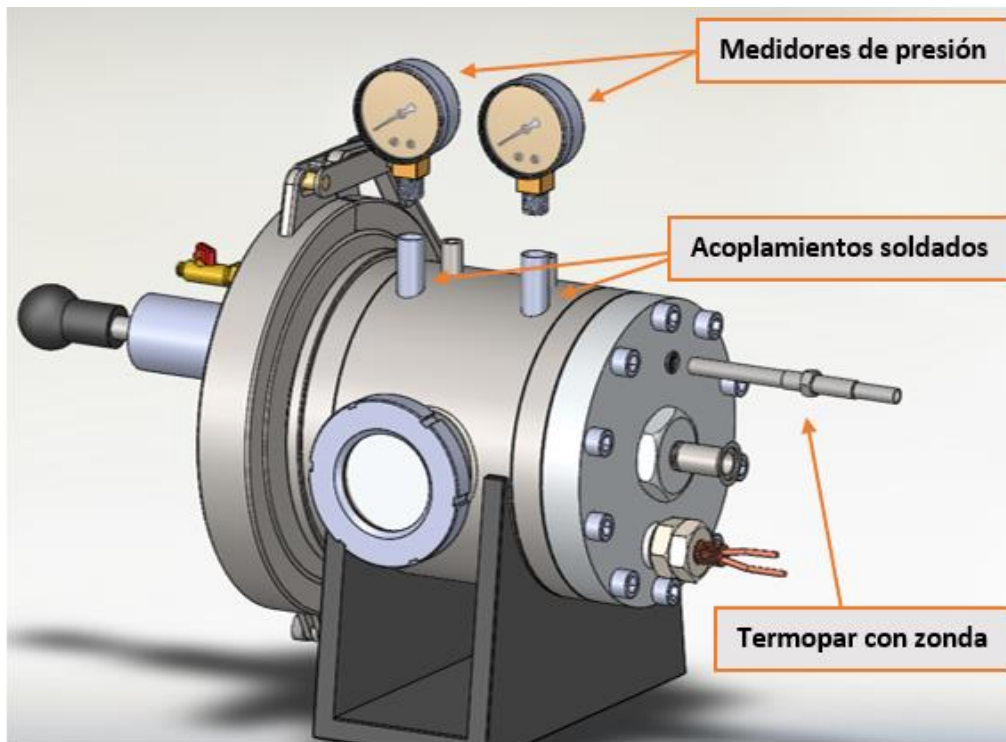


Figura 43. Modelo ilustrativo de distribución de elementos de medición sobre el cuerpo de la cámara.

5.1.7. Entrada y salida de gases

Es vital la instalación de una entrada y una salida para los gases que se alojen en el interior de la cámara, ya que sin estas tomas no sería posible realizar cambios en la atmosfera del interior del recinto.

Dichas tomas de gases deberán ir acompañadas de una válvula de control, esto para poder tener un manejo total, tanto de la presión como del flujo de gas que se maneje. En la figura 44 se muestra el modelo ilustrativo de la incorporación de dichos elementos en el cuerpo de la cámara.

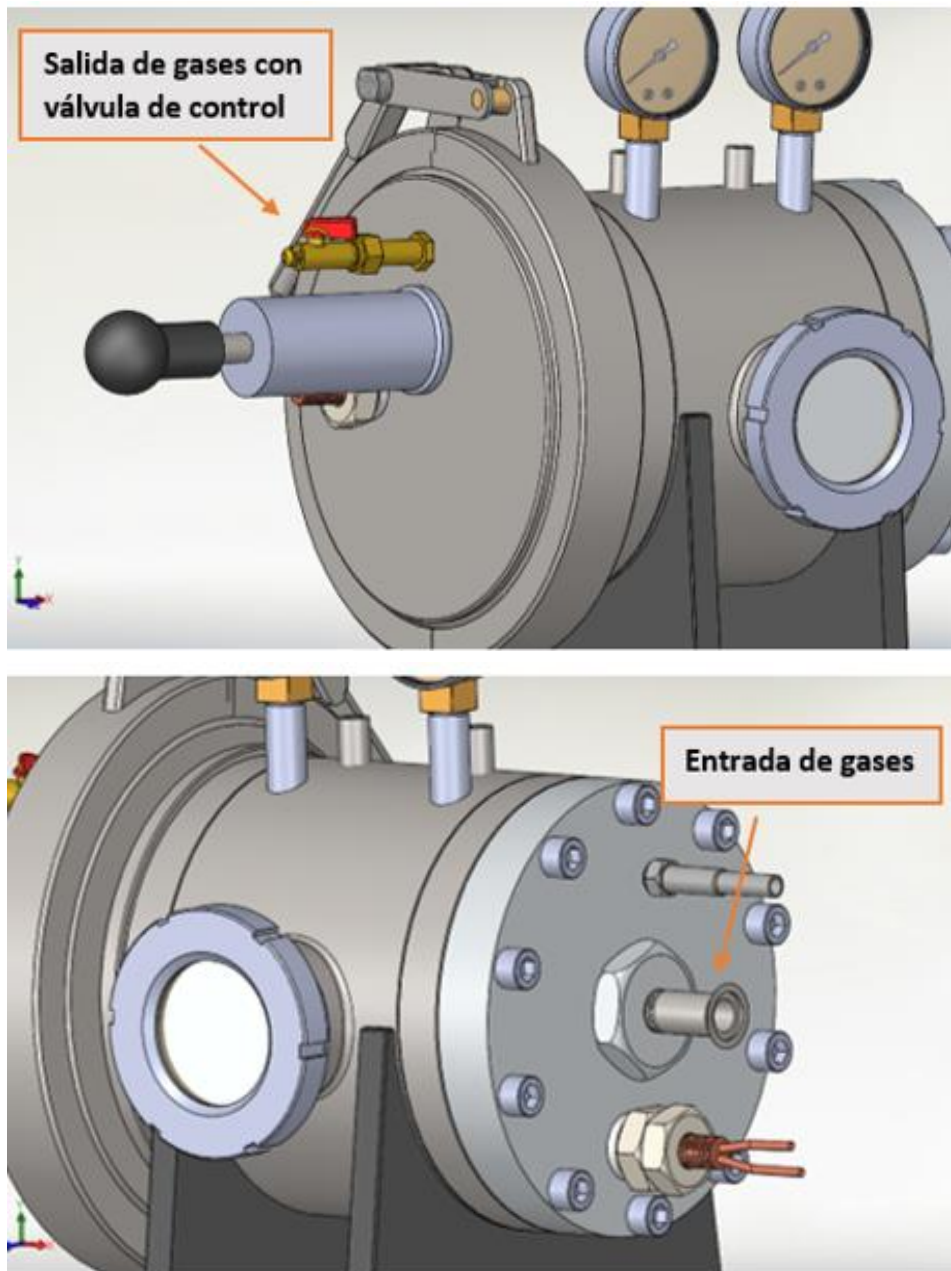


Figura 44. Instalación de tomas para gases sobre el cuerpo del recinto.

5.1.8. Válvula de seguridad para alta presión

Esta válvula es la misma seleccionada en el apartado 4.1.8. para la cámara de inducción electromagnética, debido a que se dispone de los mismos equipos neumáticos para los dos procesos. Además, las condiciones de atmosfera interna y de gases de purga son las mismas que se utilizarán en el proceso de inducción electromagnética.

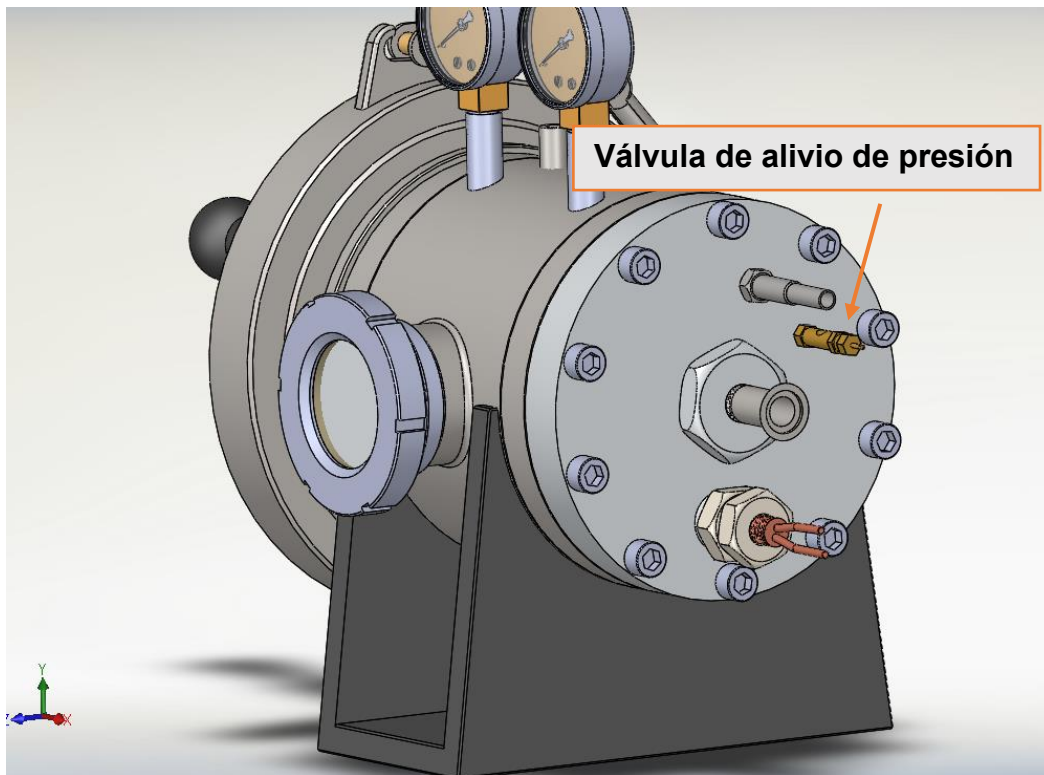


Figura. 45. Instalación de válvula de alivio en cámara para arco eléctrico.

5.2. Modelos digitales de prototipo final

A continuación se muestran imágenes (figura 46) con diferentes vistas del modelo digital ilustrativo final de la cámara, así como también, de la distribución y acoplamiento de los elementos discutidos anteriormente sobre esta.

Se anexa también, un diagrama de despiece y un listado de piezas para poder tener una mejor visión de todos los elementos que constituyen a este sistema, véase figura 47 y tabla 5.

Por último, se agregan imágenes que describen visualmente la apariencia física de todo el conjunto que compone al proceso de fusión por arco eléctrico con atmósfera controlada (figura 45).

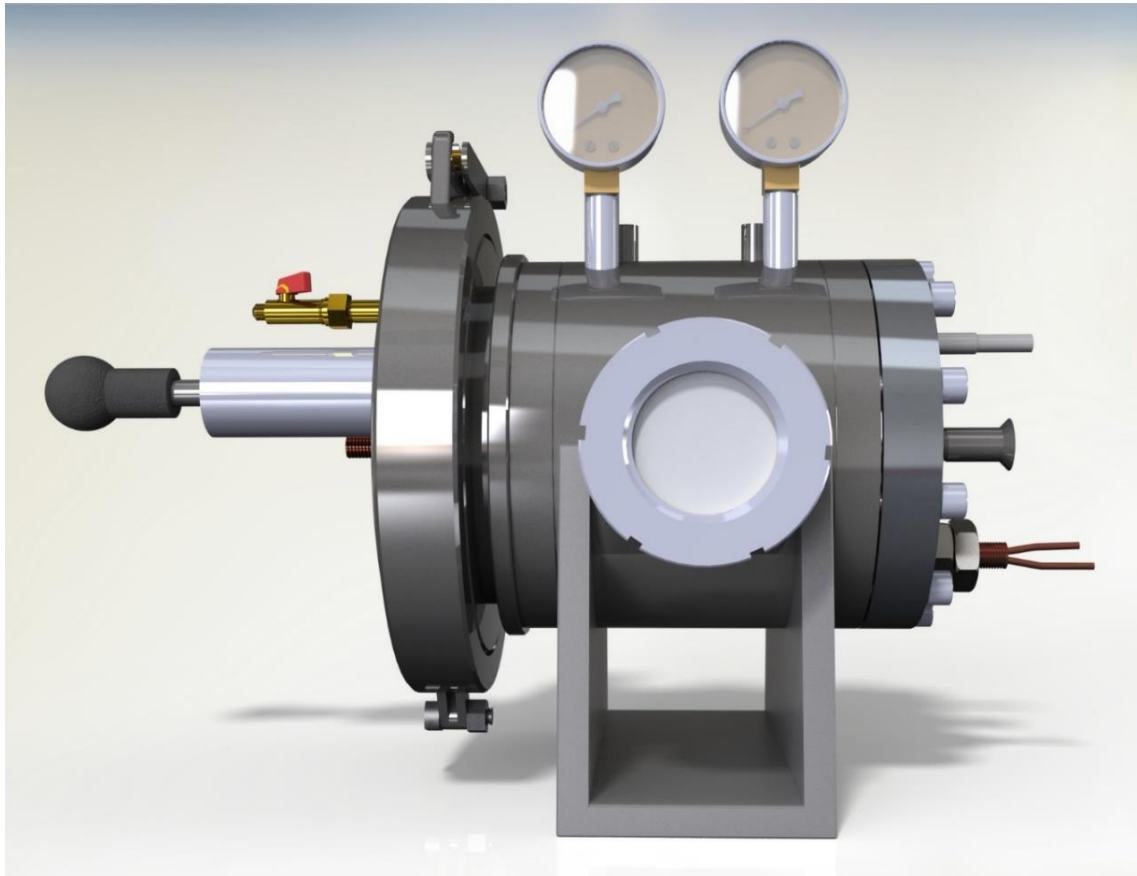


Figura 46. Diferente tipos de vistas de modelo digital ilustrativo de cámara para fusión por arco eléctrico.

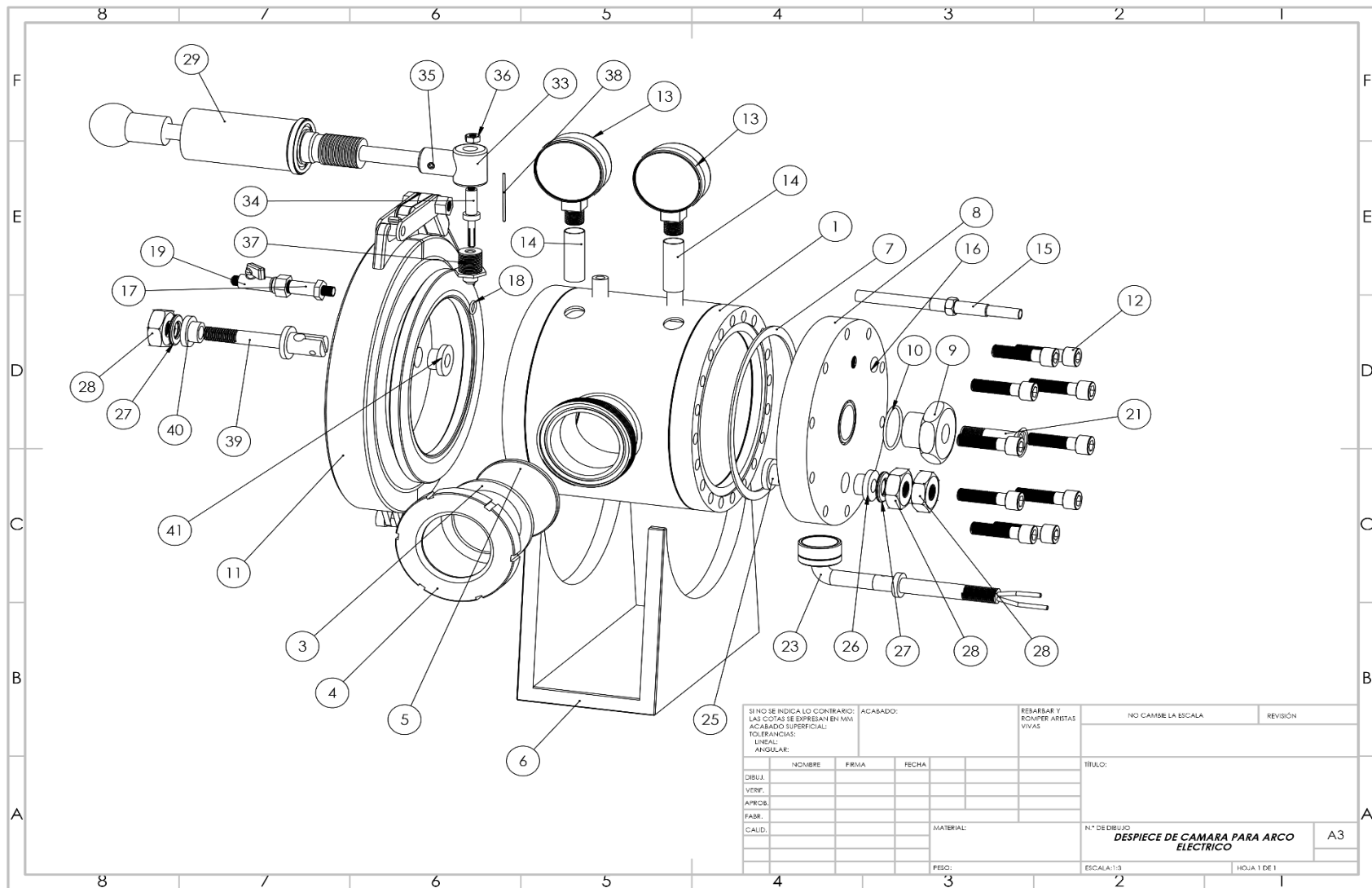


Figura 47. Diagrama de despiece de prototipo final de cámara para fusión por arco eléctrico.

Listado de piezas

ELEMENTO	CTDAD	NOMBRE DE PIEZA
1	1	cuerpo de cámara
3	1	o-ring C4400
4	1	tuerca de apriete
5	1	vidrio de borosilicato
6	1	base aislante
7	1	sello varían
8	1	Tapa de cámara
9	1	tapón
10	1	o-ring para tapón
11	1	puerta de acceso rápido
12	10	tornillo Allen M12
13	2	manómetro/vacuómetro
14	2	acople para medidores
15	1	termopar de sonda
16	1	o ring para termopar
17	1	conector para válvula
18	1	o-ring para conector
19	1	válvula de control
21	1	conexión para entrada de gases
23	1	electrodo fijo con crisol
25	1	aislante interno para electrodo
26	1	aislante externo para electrodo
27	2	arandela de 16mm
28	3	tuerca M14
29	1	pasamuros deslizante
33	1	cuerpo de porta electrodo
34	1	collect
35	1	prisionero 6mm
36	1	tuerca 6mm
37	1	punta de ajuste
38	1	electrodo de tungsteno
39	1	conector para electrodo
40	1	aislante externo de conector
41	1	aislante interno de conector

Tabla 5. Listado de piezas para cámara para fusión por arco eléctrico.

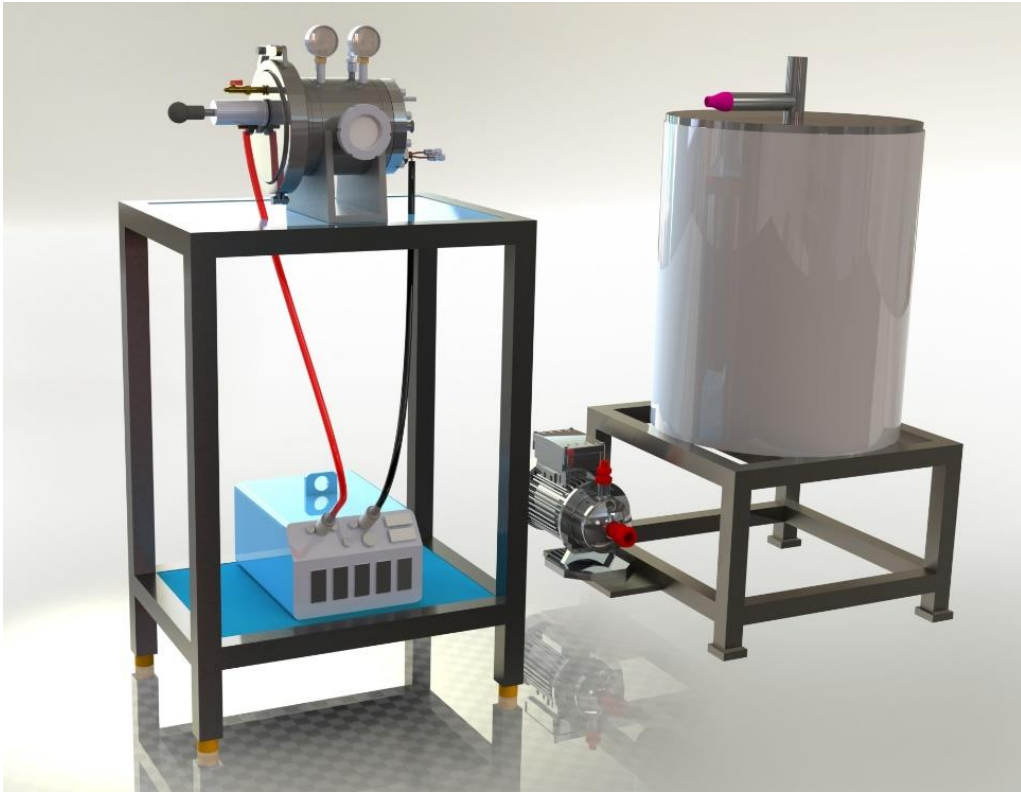


Figura 48. Diferentes vistas de modelo ilustrativo de sistema completo para fusión por arco eléctrico

Capítulo 6

Análisis de prototipos

Para garantizar la funcionalidad y la seguridad principalmente, de los procesos de fusión y calentamiento por inducción electromagnética y arco eléctrico, se dispuso a analizar matemáticamente a los prototipos propuestos en los apartados anteriores. Dichos análisis se realizaron mediante la técnica de elementos finitos, utilizando el software Inventor®.

Se sabe que las cámaras estarán sometidas a diversos esfuerzos debido a la presión manométrica y vacuométrica que manejan, es por ello que el análisis se centra en el comportamiento de los recipientes a dichas cargas utilizando el criterio de plasticidad de Von Mises, el cual muestra las tensiones equivalentes y deformaciones sufridas en los elementos de las cámaras. Se utiliza este criterio debido a que es el más utilizado en los códigos de elementos finitos.

Los resultados obtenidos demostrarán si estos recipientes son capaces de soportar las presiones a las que pudiesen estar sometidos, asegurando el bienestar de los usuarios que operen al equipo.

6.1. Criterio de Von Mises

El criterio de falla, para este caso, estará en función a la plastificación del material, esto quiere decir que, se establece como límite máximo de trabajo al límite elástico del material evitando siempre que los materiales sufran deformaciones plásticas.[24]

Resumidamente, el criterio de Von Mises se representa mediante las siguientes ecuaciones

$$J_2 = k^2 \quad \dots (7)$$

Donde:

J= La componente del tensor de tensiones general

K= Criterio de Von Mises

J puede expresarse en función de las tensiones principales σ_1 , σ_2 y σ_3 o en función de las componentes de la tensión x , y , z , con sus respectivas tensiones tangenciales.

Sustituyendo lo anterior en la ecuación 7 se tiene entonces:

En función a las tensiones principales:

$$6K^2 = (\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2 \quad \dots (8)$$

En función a las componentes x , y , z :

$$6K^2 = (\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 6(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2) \quad \dots (9)$$

Este factor nos dice que, si las tensiones tangenciales superan al valor K, entonces se tiene una plasticidad en el material.

Para evaluar a las tensiones principales utilizando este criterio de Von Mises, se pueden calcular las tensiones equivalentes de Von Mises mediante la siguiente ecuación.

$$\sigma' = \sqrt{\frac{1}{2}[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2]} \quad \dots (10)$$

Donde:

σ' = Tensión equivalente de Von Mises.

$\sigma_{1,2,3}$ = Tensiones principales en el Tensor de Tensiones.

La ecuación 10 tiene una gran importancia para el análisis, debido a que ésta se utiliza en el código de elementos finitos que se usó para este caso.

De lo anterior, surge también otro concepto importante en la ingeniería de estructuras; el factor de seguridad, el cual representa el comportamiento de los elementos frente a las cargas aplicadas. En la ecuación 11 se muestra el factor de seguridad en función al límite elástico del material.

$$\sigma_{adm} = \frac{\sigma_{lim}}{n} \rightarrow n = \frac{\sigma_{lim}}{\sigma_{adm}} \quad \dots (11)$$

Donde:

σ_{lim} = Límite elástico del material

σ_{adm} = Esfuerzo admisible o presente en el material

n = Factor de seguridad

6.2. Cámara para inducción electromagnética

Para este caso se muestra primeramente los esfuerzos obtenidos debido a la presión manométrica máxima que se presenta en el interior del recipiente, dicha información se manipuló en el apartado 4.1.8. Los parámetros que utilizados para el estudio son los siguientes:

- ♣ Presión manométrica acumulada máxima: 912 kPa (9 atm)
- ♣ Presión Vacuométrica máxima: 100 KPa
- ♣ Material: Acero inoxidable 304
 - Calibre: 1/8 "(3.175 mm)
 - Límite de elasticidad: 228 MPa
 - Resistencia máxima a la tracción: 540 MPa
 - Módulo de Young: 190.3 MPa
- ♣ Material de ventana: Vidrio de Borosilicato.
 - Calibre: 5 mm.
 - Límite de elasticidad: 33 MPa
 - Resistencia máxima a la tracción: 33 MPa
 - Módulo de Young: 68 GPa

Teniendo en cuenta los parámetros anteriores se tiene entonces los siguientes resultados:

La presión manométrica afecta principalmente a la pared interna de la cámara (recordando que esta se encuentra encamisada para refrigeración) y especialmente a los cambios bruscos de geometría, barrenos y piezas con gran área de contacto como se observa en la figura 49.

La **carga máxima** que se presenta en el elemento es igual a **203.4 MPa** y se presenta en la tapa superior, ver figura 50.

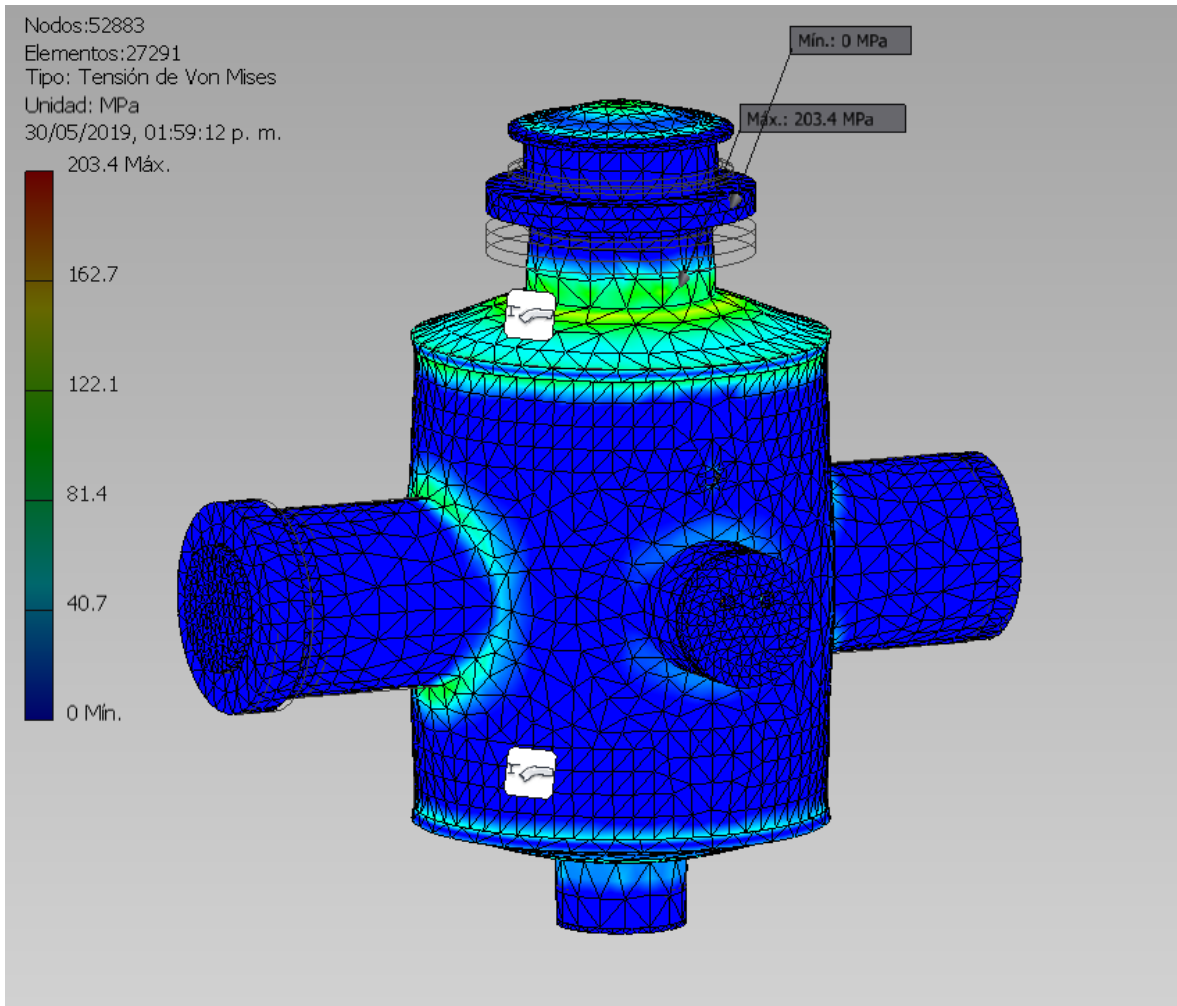


Figura. 49. Vista general de la distribución de esfuerzos de Von Mises.

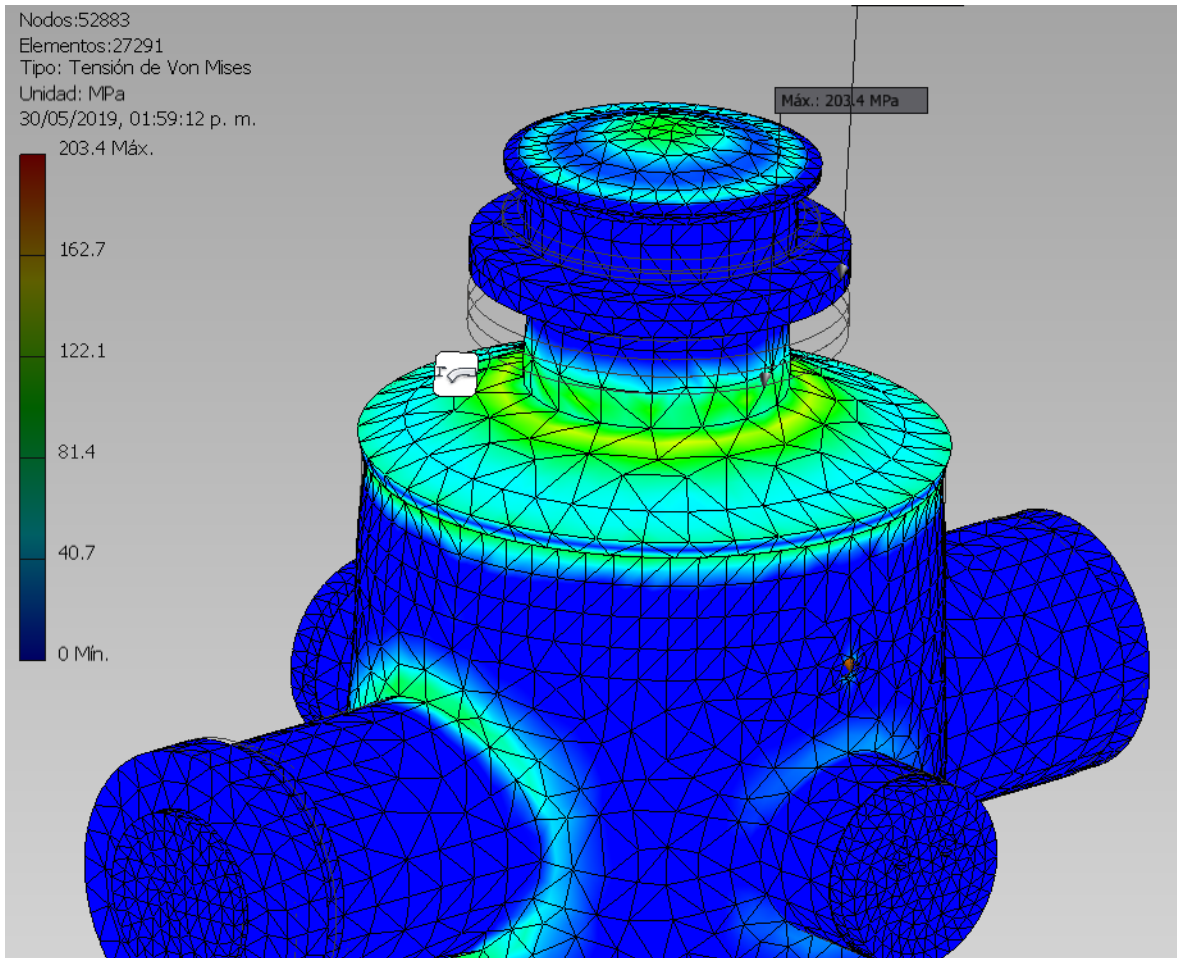


Figura. 50. Vista en detalle de esfuerzo máximo debido a la presión manométrica interna.

Como se puede ver en las imágenes anteriores, además de las cargas, se tiene también un ligero **desplazamiento** en las zonas marcadas, teniendo un **valor máximo** de **0.83 mm** de desplazamiento; en la figura 51 se muestran dichas deformaciones

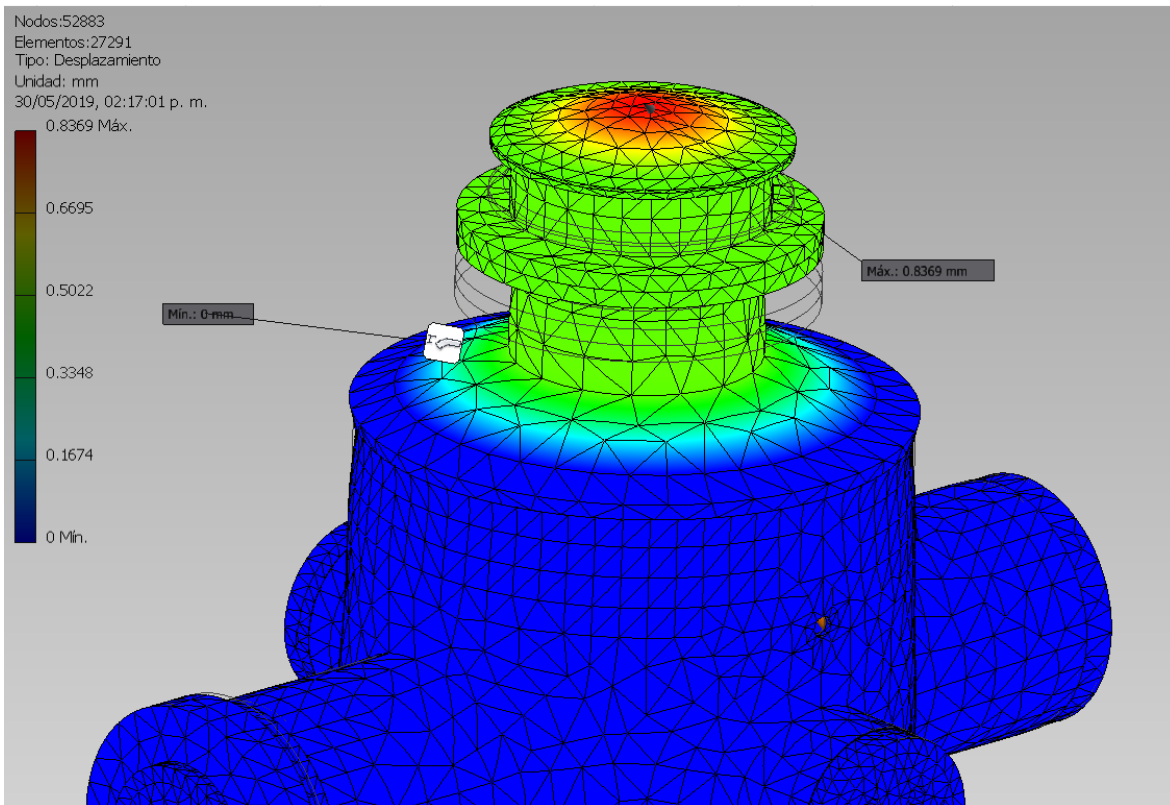
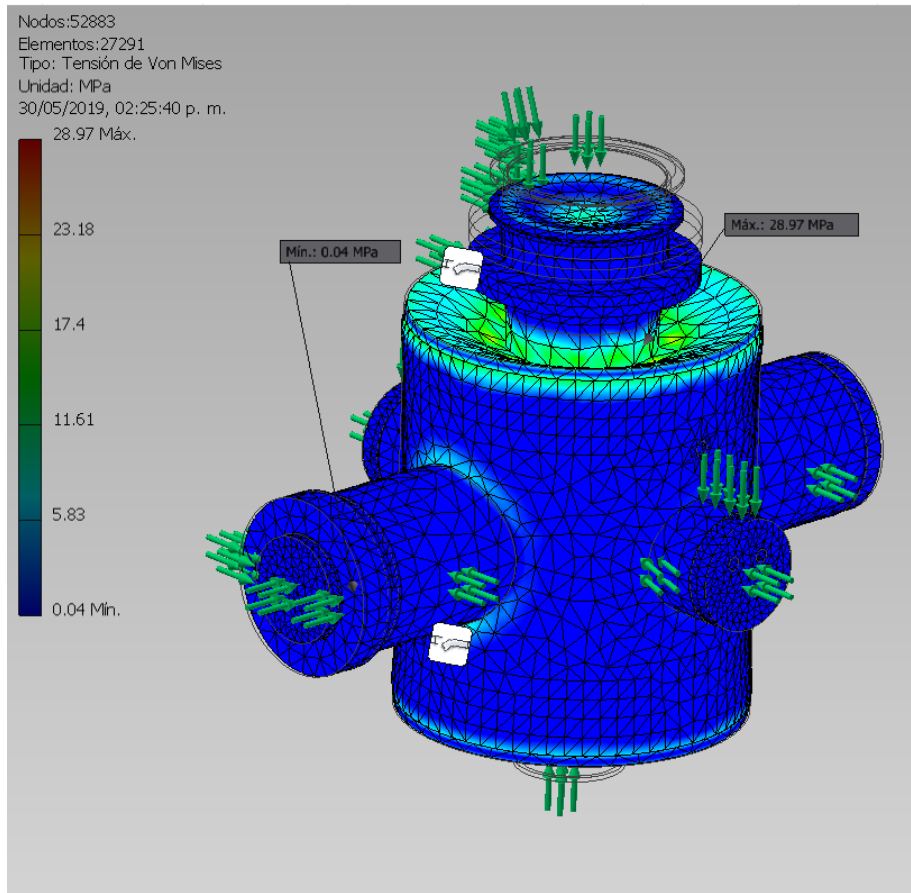


Figura. 51. Vista en detalle de zona con mayor deformación.

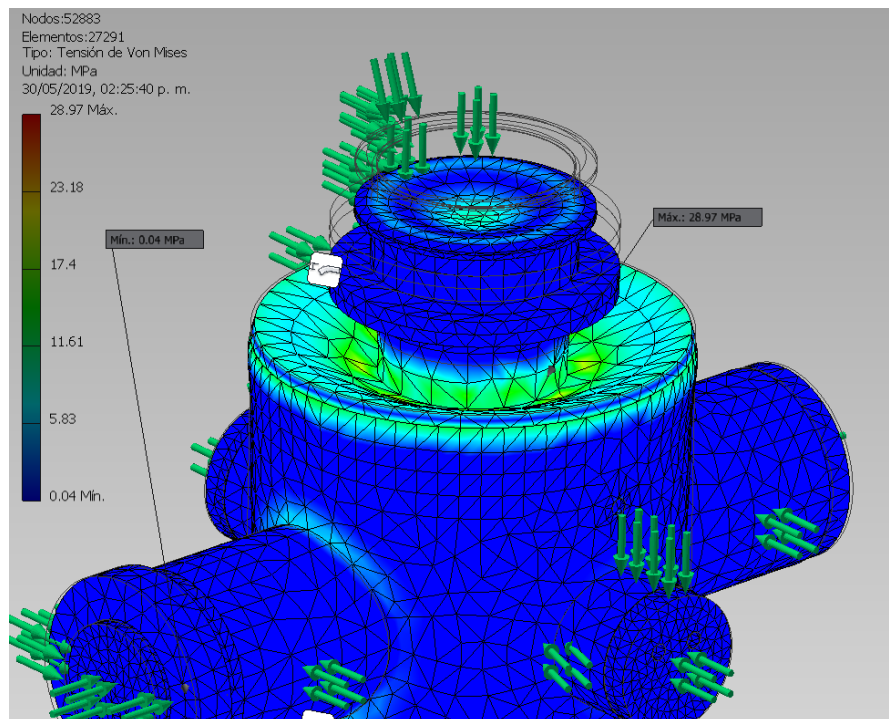
Para la presión vacuométrica se utilizó la misma metodología, obteniendo los siguientes resultados:

Se tiene una **carga máxima de 28.97 MPa**, ubicada nuevamente en la tapa superior, ver figura 52 a y b.

La **deformación** en este caso tiene un **valor máximo de 0.11 mm** presente en el mismo sitio que el esfuerzo. Ver figura 53.



a)



b)

Figura 52. a) vista general de distribución de esfuerzos; b) vista en detalle de esfuerzo máximo de Von Mises

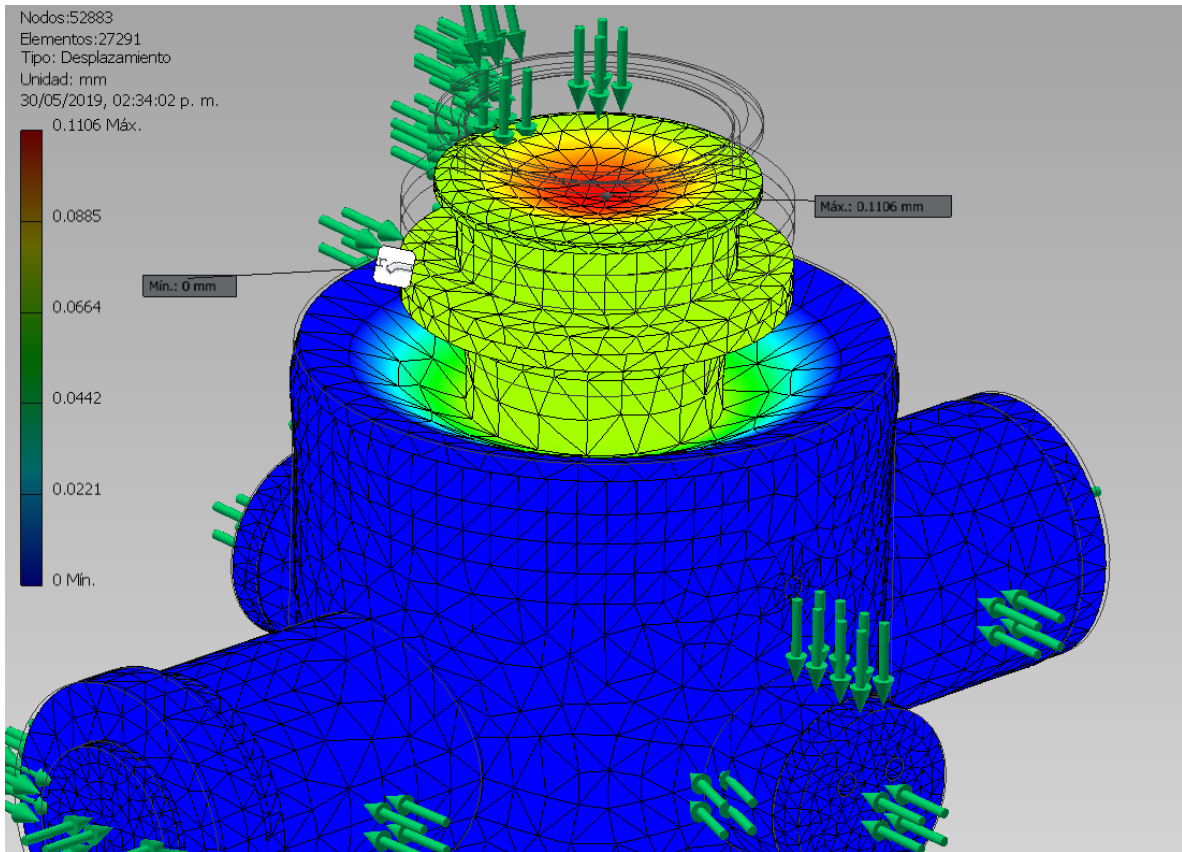


Figura. 53. Vista en detalle de deformación máxima debido a la presión de vacío

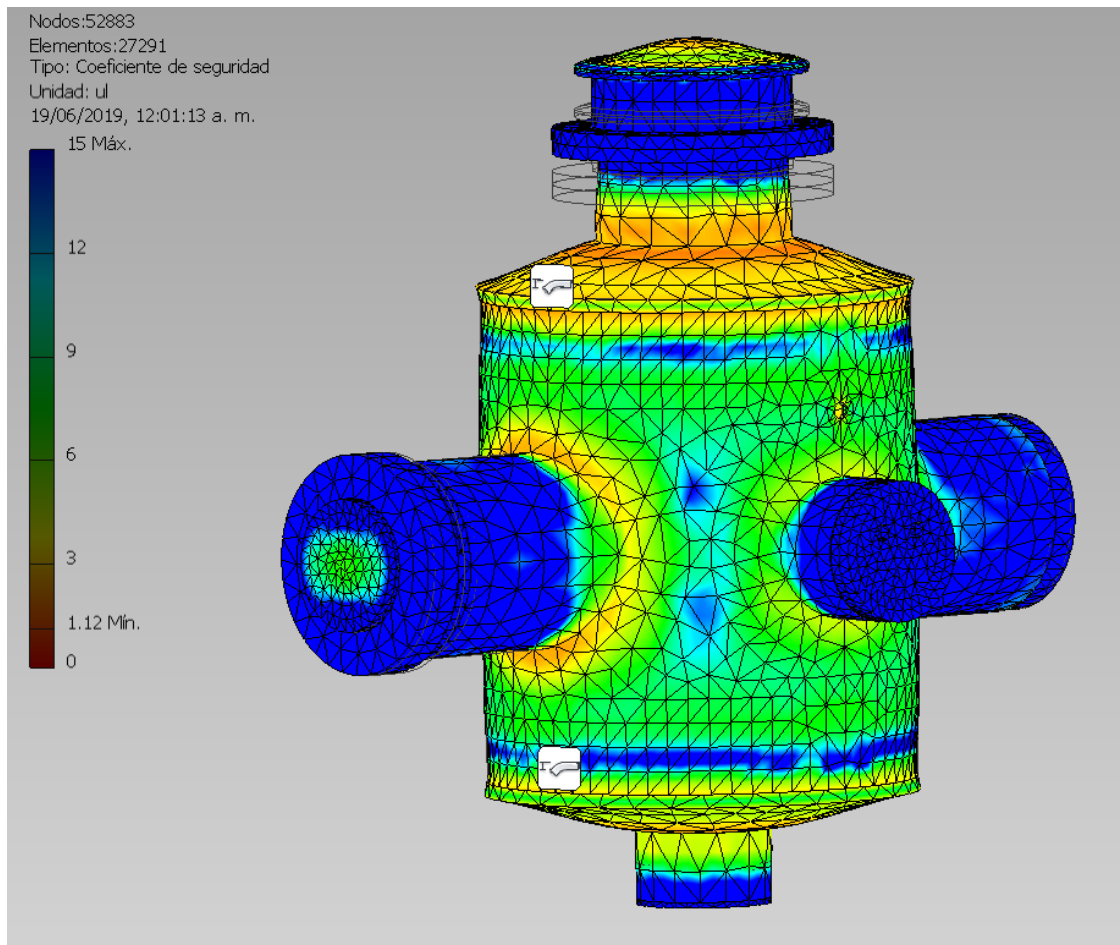


Figura 54. Vista general de la distribuci3n del factor de seguridad en funci3n al límite elástico, debido a la presi3n manométrica interna.

Cabe aclarar que las imágenes mostradas están con una escala mayor a la real, esto quiere decir que, si se mirara a simple vista a las zonas críticas apenas se podría notar las deformaciones.

Como se observa en los resultados obtenidos, los esfuerzos resultantes debido a las cargas tanto positivas como negativas no rebasan el m3dulo elástico de los materiales empleados, por lo que se puede deducir que la cámara sera capaz de soportar las condiciones de operaci3n reales.

6.3. Cámara para arco eléctrico

Para esta cámara se tienen los mismos parámetros descritos anteriormente, debido a que las dos están fabricadas de acero inoxidable 304 con ventanas de vidrio de borosilicato. A sí mismo, las presiones los rangos de presiones se repiten, debido a que se dispone de un solo equipo neumático para los procesos.

Teniendo en cuenta lo anterior, a continuación se presentan los resultados obtenidos de los análisis realizados a este elemento.

Tanto la **carga** como el **desplazamiento máximos** se presentan en la tapa de acceso rápido y **equivalen a 89.6 MPa y ,0.13 mm**, respectivamente, ver figura 55 y 57.

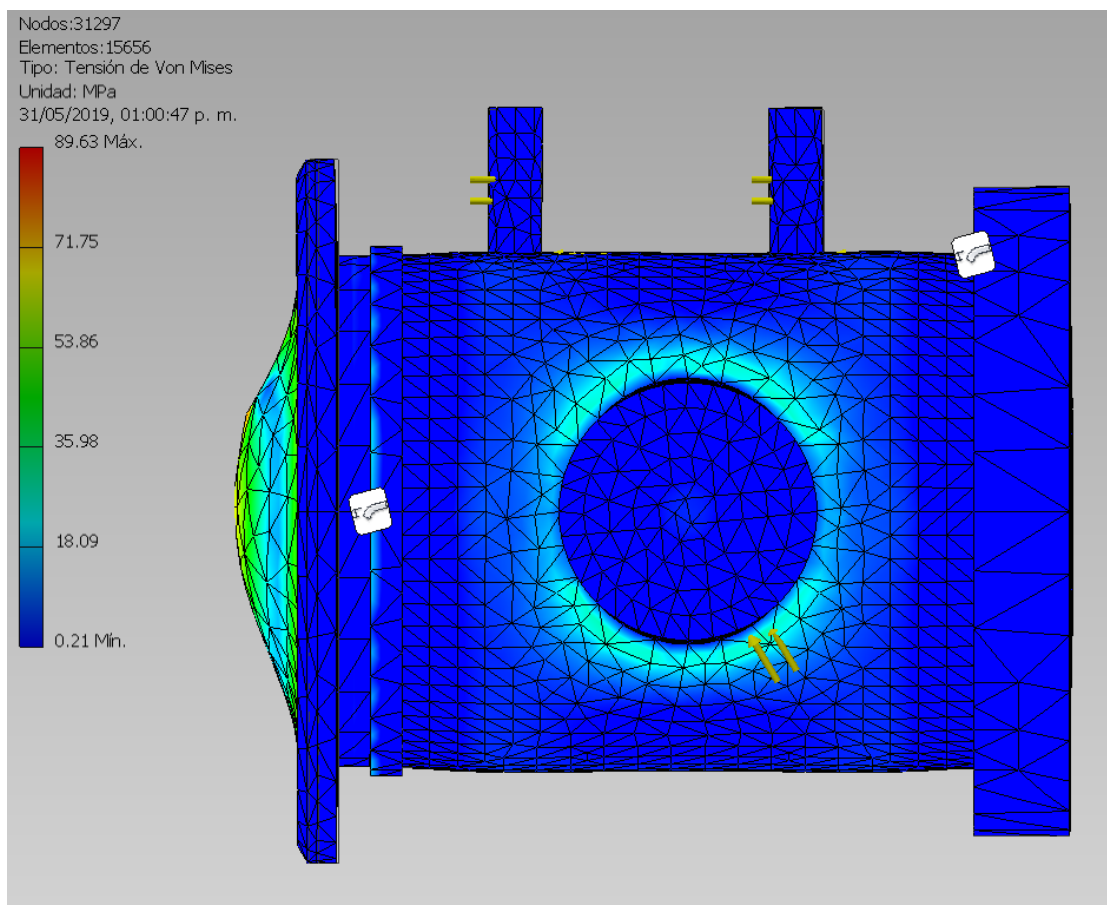


Figura. 55. Vista frontal de la cámara mostrando la distribución de esfuerzos de Von Mises.

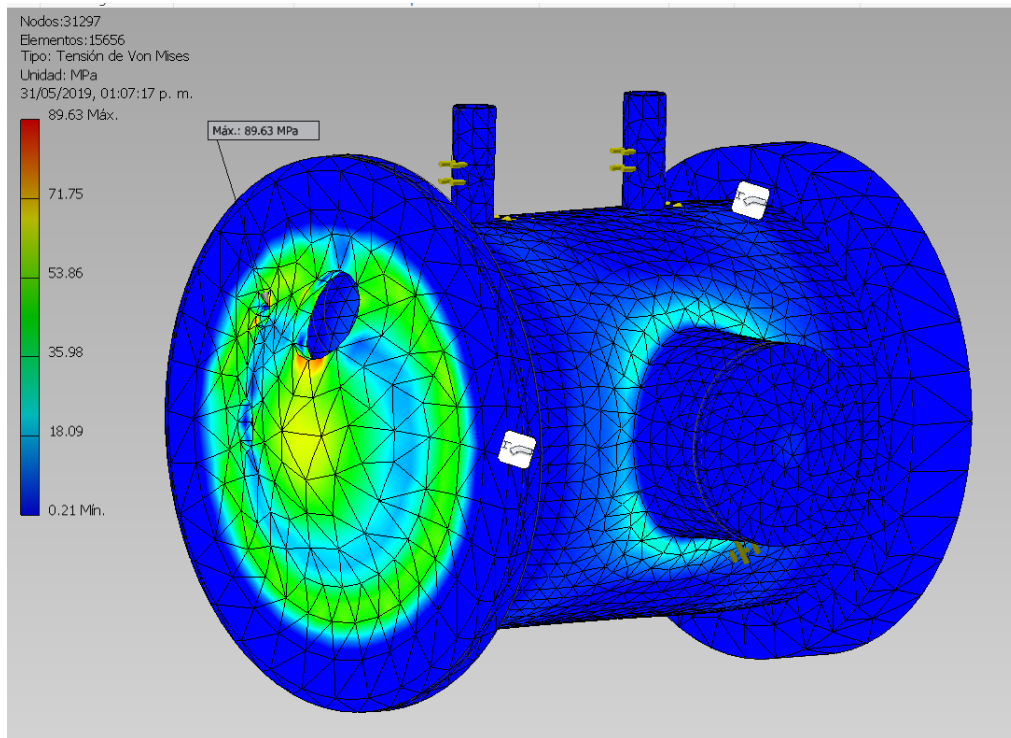


Figura. 56. Vista en detalle del esfuerzo máximo.

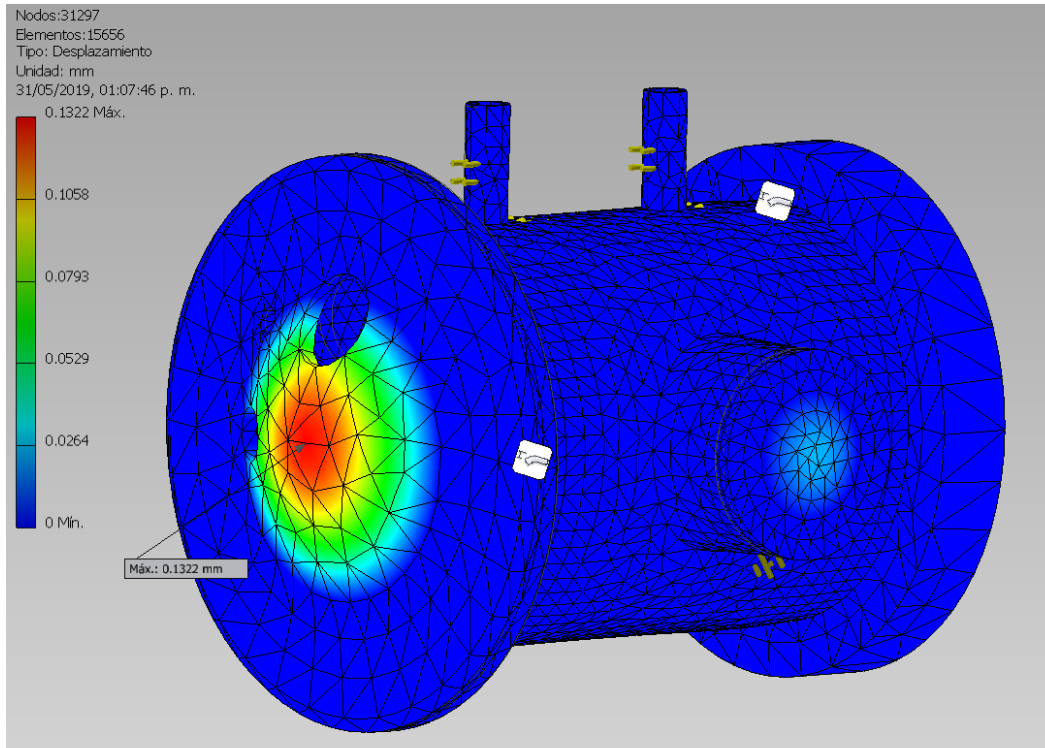


Figura. 57. Vista de deformación máxima en cámara debido a la presión interna.

Para la presión de vacío se tiene lo siguiente:

El **esfuerzo máximo** se presentó nuevamente en la tapa de acceso rápido, obteniéndose una **magnitud de 10.26 MPa** como se muestra en la figura 58.

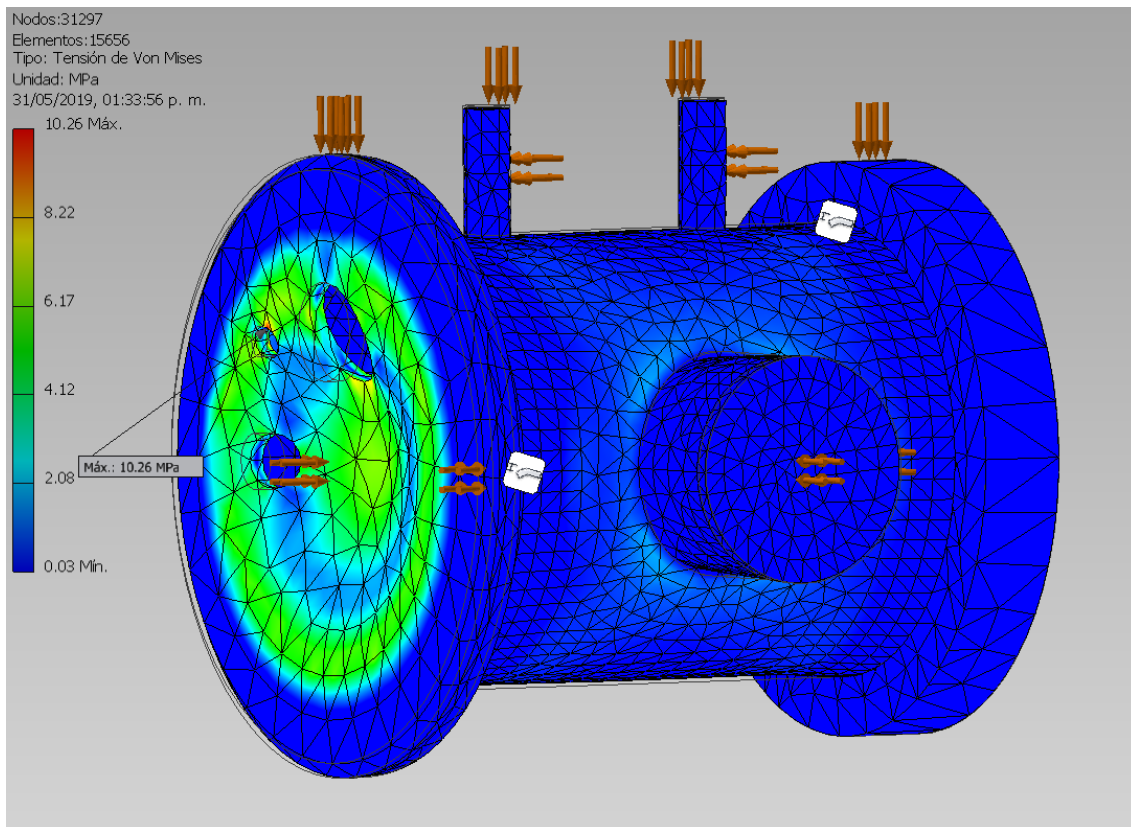


Figura. 58. Vista de esfuerzo máximo de Von Mises debido a la presión interna negativa.

El **desplazamiento máximo** también se presentó en la misma zona que el esfuerzo anterior, teniendo como **magnitud máxima 0.013 mm**, ver figura 59.

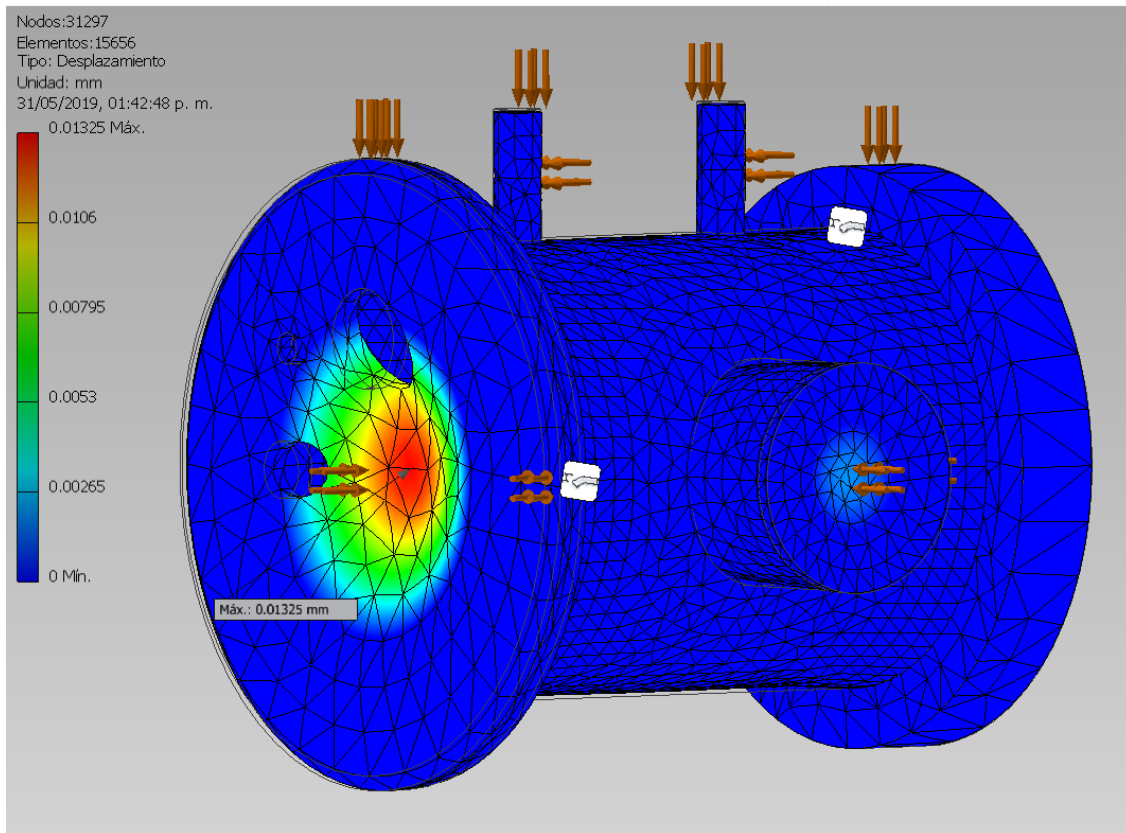


Figura. 59. Vista de deformación máxima presente en la cámara.

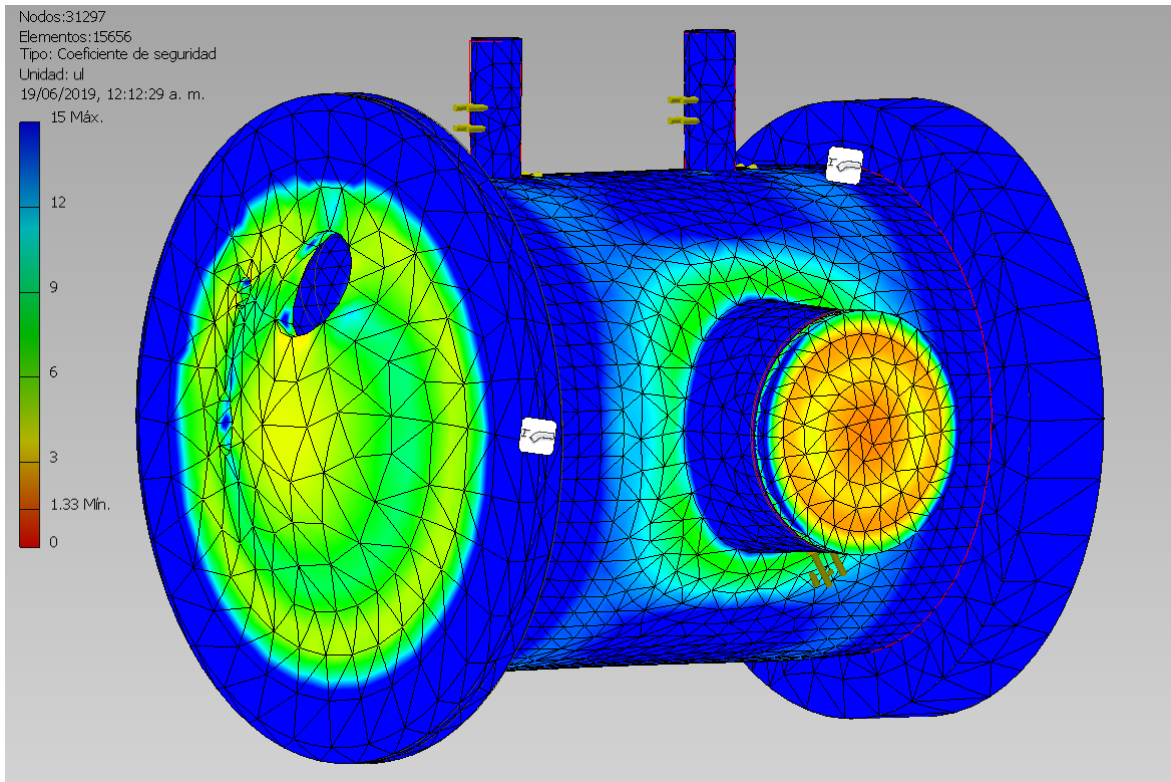


Figura 60. Vista general de la distribución del factor de seguridad en función del límite elástico, debido a la presión manométrica interna.

Al igual que en las imágenes de la cámara anterior, las representaciones graficas de los esfuerzos y deformaciones están aumentadas a una escala por 2, esto para poder visualizar mucho mejor a los fenómenos. Realmente, los desplazamientos son imperceptibles a simple vista.

Conclusiones

1. Con base en la metodología de investigación se realizó el diseño conceptual de dos cámaras con atmosfera controlada para procesos de fusión y calentamiento por arco eléctrico e inducción electromagnética.
2. El grado de avance de esta tesis abarca hasta la presentación del diseño detallado de los prototipos, incluyendo un ligero análisis de estos, debido a que, principalmente, aun no se cuenta con un presupuesto financiero destinado al proyecto, lo cual imposibilitó la fabricación de prototipos a escala real para realizar las evaluaciones pertinentes.
3. La utilización de herramientas computacionales, tanto para el desarrollo de los prototipos como para el análisis de los mismos, fueron pieza vital del proyecto, ya que se obtuvieron resultados mucho más confiables y de más fácil visualización gráfica.
4. Respecto al grado de profundidad analítica, para la solución del problema del comportamiento de las cámaras frente al rango de presiones de trabajo, se utilizó el análisis de elementos finitos de la paquetería de Inventor®, logrando obtener un análisis utilizando la teoría de Von Mises para tensiones máximas.
5. Dichos análisis estáticos de esfuerzos, debido a las presiones manométricas y vacuométricas, demuestran que los materiales con los que están fabricados los distintos elementos sufren deformaciones elásticas mínimas, y las cargas aplicadas en ellos, no son factor de riesgo para fallas debido a deformación plástica.

Perspectivas

1. Además del análisis mecánico mostrado, es necesario realizar un análisis de transferencia de calor, para descartar fallas debido a sobrecalentamientos de paredes o electrodos (en el caso del proceso de arco eléctrico)
2. Para asegurar al 100% la efectividad de los elementos diseñados es necesario la fabricación de los prototipos a escala real, y con ello, realizar pruebas físicas, sometiéndolos a las presiones y temperaturas mencionadas en esta tesis.

Referencias

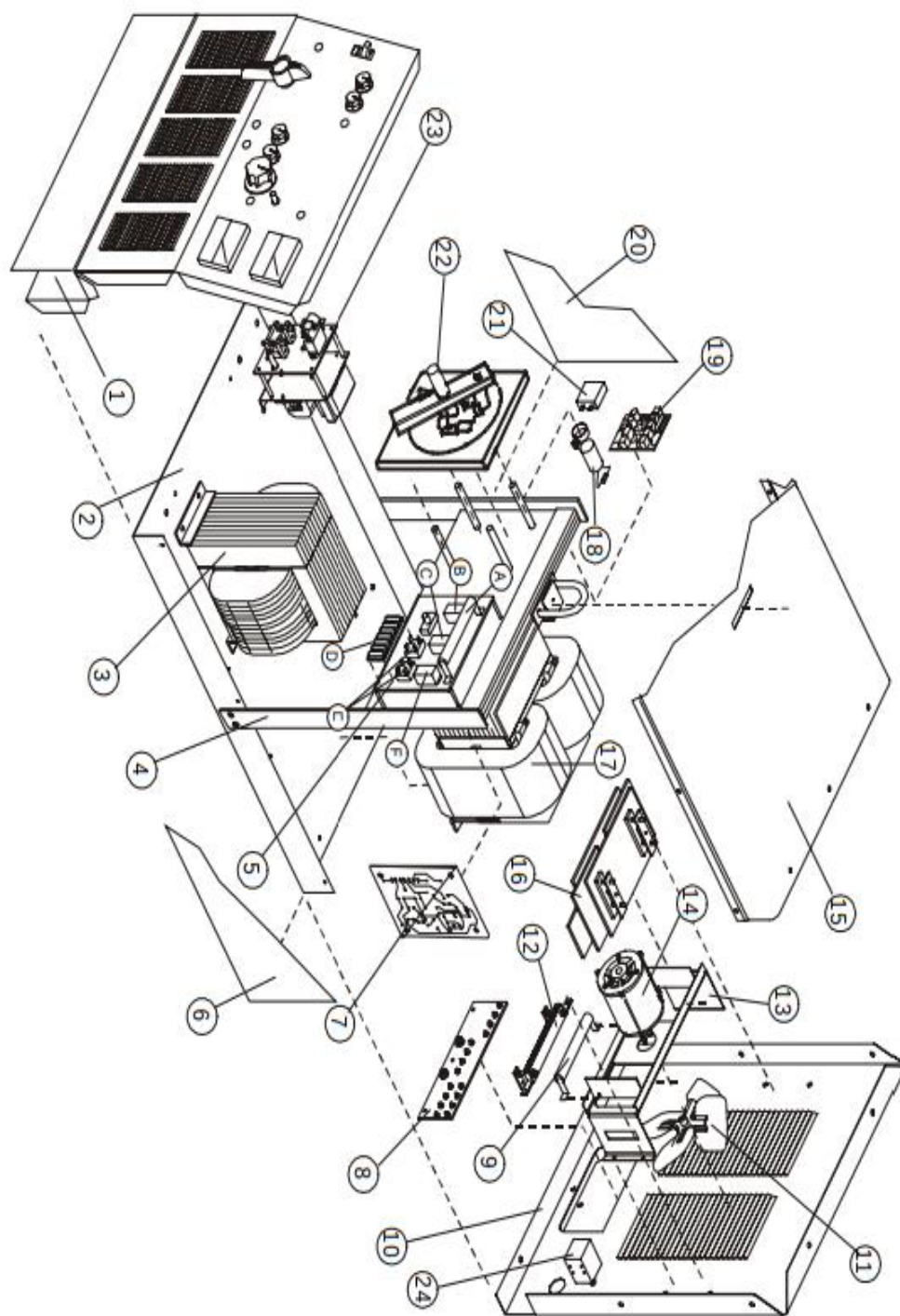
1. Larburu N. Prontuario Maquinas. Vizcaya: Paraninfo; 1995.
2. Kalpakjian S, Schmid SR. Manufactura, ingeniería y tecnología. 5ª ed. México: Pearson Educación; 2002.
3. Wattco.com [Internet]. Canadá: CONDEX WATTCO INC; 2007 [Recuperado el 4 junio de 2018]. Disponible en: <https://www.wattco.com/es/calentadores-industriales/>
4. Astigarraga J. Hornos industriales de resistencias: teoría, calculo y aplicaciones. Vol. 7. 1a ed. España: McGraw Hill; 1994.
5. Balam-Cocom, RJ, Duarte-Aranda, S, Canché-Escamilla, G. Obtención y caracterización de materiales compuestos de fibras de la "piña" de henequén y polipropileno. Revista Mexicana de Ingeniería Química [Internet]. 2006 [Recuperado el 17 junio de 2018]; 5(1):39-44. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=62009908>
6. Wattco.com [Internet]. Canadá: CONDEX WATTCO INC; 2008 [Recuperado de 17 junio de 2018]. Disponible en: <https://www.wattco.com/es/tipos-de-procesos-en-los-sistemas-de-calentamiento/>
7. Gonzales M, Guillermo. Aplicación de electro tecnologías en procesos industriales de calentamiento. Artículos técnicos Instituto de Investigaciones Eléctricas 95 Boletín IIE [Internet]. 2003 [Recuperado el 6 de abril de 2018]. Disponible en: <https://www.ineel.mx/2001b/tecnico2.pdf>
8. Trinks W. Mawhinney. Hornos Industriales Vol. 2. 1ª ed. España: Urumo S.A.; 1976
9. Gonzales WD. Impacto de la implementación del sistema de cocción de inducción electromagnética en las redes de distribución de la empresa

- eléctrica regional del sur S.A en la ciudad de Loja. [Tesis de licenciatura]. [Facultad de ingeniería, Ecuador]: Universidad de Cuenca; 2014
10. Escobar-Cortés FO. Fundamentos de la teoría electromagnética. 1a ed. México: UNAM; 2000.
 11. Picón AA. Calentamiento por inducción electromagnética: diseño y construcción de un prototipo. Rev. Uis [Internet]. 2007 [Recuperado el 1 agosto de 2018]; 6:69–76. Disponible en: <http://revistas.uis.edu.co/index.php/revistauisingenierias/article/view/1951>
 12. M. N. O. Sadiku, ELEMENTS OF ELECTROMAGNETICS. 3a ed. New York. Oxford/Alfaomega; 2002.
 13. Hincapié-Trejos A, Moncada-escobar A. Electrónica de potencia para el calentamiento por inducción domestico: revisión del estado del arte. Rev. Ingeniería y Ciencia. 2013; 9(18): 237-226.
 14. Astigarraga J. Hornos de arco para fusión de acero: teoría, calculo y aplicaciones. 1a ed. España. McGraw Hill; 1995.
 15. NDURA S.A. Manual de sistemas y materiales de soldadura. 1a ed. Chile. Ograma; 2007
 16. Flores CE. Soldadura al arco eléctrico SMAW. Boletín no. 8. universidad Rafael Landivar; 2015.
 17. Jeffus L. Manual de Soldadura GTAW (TIG). 1a ed. España. Paraninfo; 2018.
 18. I&D INDURA S.A. Manual de usuario máquina de soldar inversora ARCTIG 130 pro®. 1a ed. Chile. Ograma; 2017.
 19. LEPEL Corporation. Instrucción Manual for Induction Heating Generator T-7.5-3-MC-SW. N.Y.
 20. Lumiglas®. Catálogo de mirillas. Alemania; 2015.

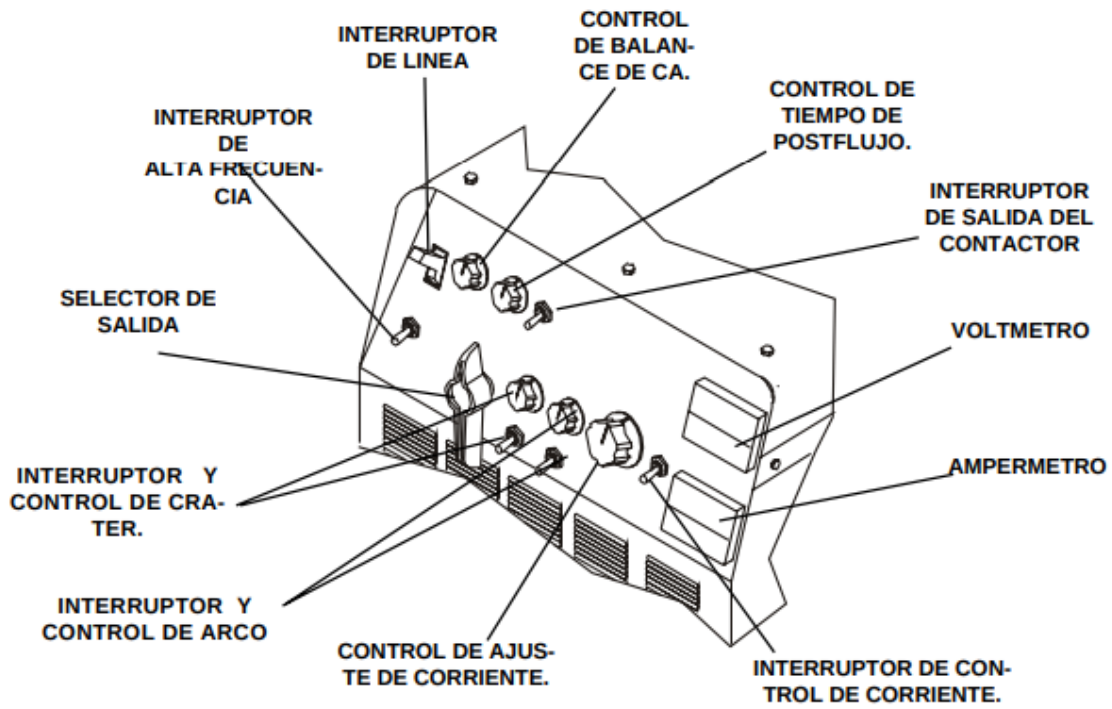
21. Omega®. Manual of general service gauges type S. USA; 2015.
22. I&D INDURA S.A. Hoja de datos de seguridad del producto electrodo tungsteno AWS/ASME SFA 5.12. USA; 2014.
23. E. V. Krick. Introducción a la ingeniería y al diseño en ingeniería. México. Limusa; 2006.
24. García MM, Alacide MJ, Gómez MT, Collado RD, et al. Fundamentos del diseño en la ingeniería. 1ª ed. Valencia España. Editorial Universitat Politècnica de València; 2017.
25. Metales Industriales de Puebla S.A. de C.V. Clasificación de aluminio. [Internet]. 2017. [Recuperado el 20 de mayo de 2019]. Disponible en: <https://mipsa.com.mx/dotnetnuke/Sabias-que/Clasificacion-de-aluminio>
26. Turmo Sierra E. NTP 510 Válvulas de seguridad: selección. España; 1999.

Anexos

Anexo 1. Fuente de alimentación INFRA® modelo ALPHA TIG 252



No	No de Inventario.	I.D.	Descripcion	Cantidad
1	PF 0563	Fig. "A"	Frente armado.	1
2	PC 1397		Chasis.	1
3	PT 1126	T1	Transformador armado. Consiste de:	1
	PB 0758		Bobina prim-sec.	1
	PN 0070		Nucleo del transformador.	1
	PC 1107		Cabeza del nucleo.	1
4	PT 0835		Torre de levantamiento.	1
5	PT 1127		Tablero de relevadores.	1
A	MR 05697	R1	Resistencia fija 100W, 50Ω.	1
B	MR 05642	CR1	Relevador 2P2T 24 vcd.	1
C	MR 09534	CR2	Relevador 2P2T 24 vca	1
D	MT 06899		Terminal Kulka 10 Amp. 15 Pos.	1
E	MR 01208	SR2,3	Rectificador Integrado	2
F	MR 05704	CR5	Relevador 3P2T 24 vcd	1
6	PT 1473		Tapa lateral izquierda.	1
7	PT 1129	PC1	Tarjeta de control.	1
8	PT 1507		Tablero primario de conexiones.	1
9	MR 01048	R2	Resistencia 30-060	1
10	PT 1509		Tapa posterior.	1
11	MA 01108		Aspa de aluminio para ventilador 16".	1
12	PS 0795		Shunt.	1
13	PS 0876		Ducto del ventilador.	1
14	MM 02971	M	Motor del ventilador 1/6HP.	1
15	PC 0707		Cubierta.	1
16	PR 0598	SR1	Rectificador armado consiste de:	1
	MT 03939		Thyristor SKT 340	4
	PC 0959		Capacitor p/ rectificador.	4
	PP 2194		Placa rectificadora positiva.	1
	PP 2195		Placa rectificadora negativa.	1
	PP 2196		Placa rectificadora central.	2
17	PR 0522	Z1	Reactor. Consiste de:	1
	PB 0549		Bobina.	2
	PC 1111		Nucleo.	1
	PC 1112		Cabeza del nucleo.	1
18	MC 08430	C2	Capacitor electrolitico 4000 uF, 100V.	1
19	PT 1076	PC2 (TD1)	Tarjeta de timer de post-flujo.	1
20	PT 1187		Tapa lateral derecha.	1
21	MF 02086		Filtro 115/250V 50-400Hz AT2AM.	2
22	PC 1385	S2	Conmutador de rangos.	1
23	Fig. "B".		Unidad de alta frecuencia.	1
24	MV 00768		Valvula solenoide	



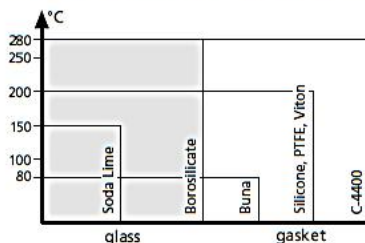
Lumiglas Sight Glass Fitting, Circular DIN 28120 or similar

Sight glass fittings acc. to DIN 28120 are circular flanged ports for welding into and onto the vessel wall. The block and the cover flange are screwed together tightly, with the sight glass disk and an independent gasket to the upper and the lower flange respectively positioned between them. The structure and dimensions comply with the design standards set out in DIN 28120 for sizes DN 50 to DN 200. Flange thicknesses dimensioned according to this standard ensure the distortion-free positioning of the sight glass disk, provided the block flange is properly welded onto or into the wall of the vessel.

- **Application:**
For viewing of internals of pressure vessels, tanks, silos, stirred vessels, separators pipelines etc.
- **Operating conditions:**
Pressure: 10 bar or 16 bar, depends on size,
higher pressure rating on request; vacuum
Temperature: max. 150°C with sodalime glass DIN 8902
max. 280°C with borosilicate glass DIN 7080
higher temperatures on request
- **Possible combinations:**
Can be combined with Lumiglas luminaires when used in explosion hazardous as well as non explosion hazardous areas. The cover flange is then drilled and tapped to suit luminaire mounting bracket.
- **Certificates/testing:**
Depending on customer requirements and at extra cost, can be provided to DIN EN 10204 3.1/3.2
- **Component materials shown in adjoining exploded view are**

item	part	material
1	base flange (welding flange)	carbon steel S235JR+N (RSt 37-2), stainless steel or other
2.1, 2.2	fastening bolts	carbon steel 5.6/5 or stainless steel A2
3.1, 3.2	gaskets	KLINGERSil C-4400; silicone, PTFE or other
4	sight glass disc	- sodalime glass: toughened DIN 8902 - borosilicate glass: toughened DIN 7080
5	cover flange	carbon steel S235JR+N (RSt 37-2); stainless steel 1.4541 or other
6	vessel wall	

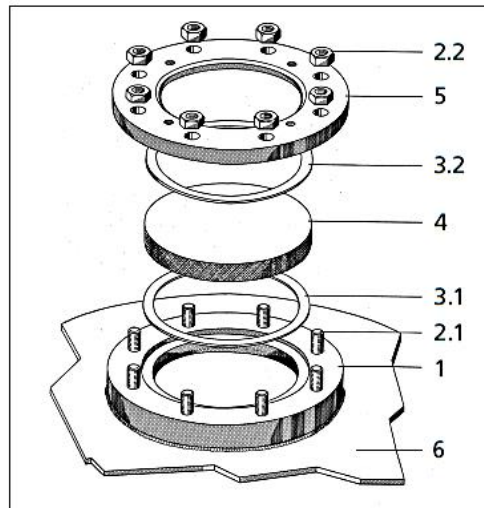
- **The following temperature diagram simplifies material selection:**



3755.165 d



Lumiglas sight glass fitting DIN 28120

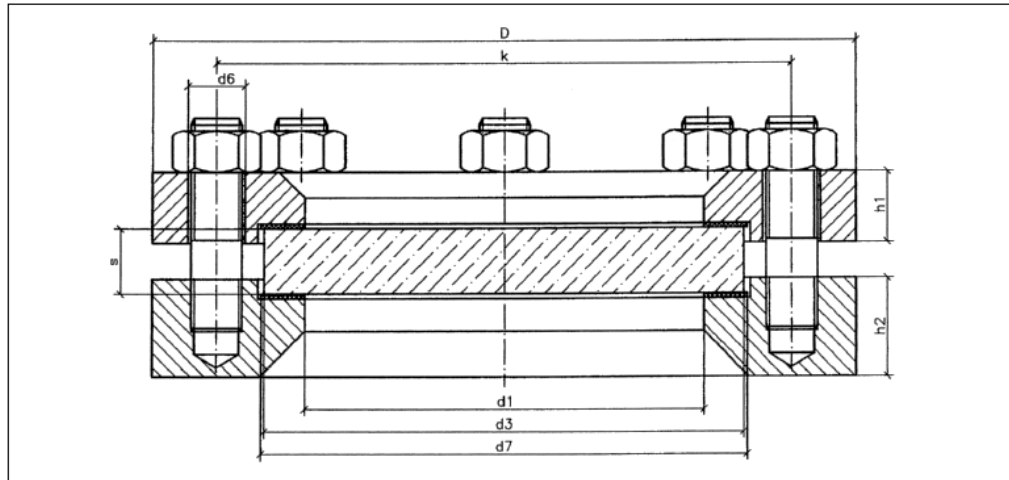


Exploded view of Lumiglas sight glass fitting DIN 28120

- **Installation:**
After welding base flange (1) onto or into vessel wall, seals (3.1 & 3.2), glass disc (4) and mating flange (5) are placed together in the order shown. Then the nuts (2.2) in case of studded base flange and washers are progressively tightened, always working on diametrically opposed pairs of nuts at a time. Tightening torque values are given in table on overleaf. For more information see DIN 28120.

Lumiglas

- Dimensions for Lumiglas sight glass fitting, circular, DIN 28120/PN 10/16 or similar DIN 28120/PN 6



size		1	2	3	4	5	6
normal bore	DN	50	80	100	125	150	200
pressure rating (bar)	PN	10/16	10/16	10/16	(6) 10/16	(6) 10/16	(6) 10
viewing diameter	d1	80	100	125	150	175	225
sight glass disc	d3	100	125	150	175	200	250
	s	15/15	15/20	20/25	(20) 20/25	(20) 25/30	(25) 30
flanges	D	165	200	220	250	285	340
	k	125	160	180	210	240	295
	d6	18	18	18	18	22	22
	h1	16/16	20/20	22/22	(18) 25/25	(18) 30/30	(20) 35
	h2	30	30	30	30	36	36
fastening bolts	no.	4	8	8	8	8	8
	size	M 16	M 16	M 16	M 16	M 20	M 20
gaskets (side with product contact and atmospheric side)	d1	80	100	125	150	175	225
	d7	102	127	152	177	202	252
tightening torque for bolts lubricant factor/μ 0.1	Nm	28/32	20/23	26/30	32/34	47/54	63

- Order data:
 - Lumiglas sight glass fitting, circular (DIN)
 - nominal bore (DN) / nominal pressure (PN)
 - material: base flange, test certification 3.1/3.2 on request
 - mating flange, test certification 3.1/3.2 on request
 - bolts
 - glass disc
 - gaskets

- Pressure rating conversion:
 - 6 bar = 87 psi
 - 10 bar = 145 psi
 - 16 bar = 232 psi

All dimensions in mm unless stated otherwise. Subject to change without prior notice. 05.16

Contacto en España y Portugal:
 Juan Solá Tel: +34 620 838 814
 info@lumiglas-iberica.com
 www.lumiglas-iberica.com

Acoples de mirilla con cuello para soldar Serie MV

Aplicación:

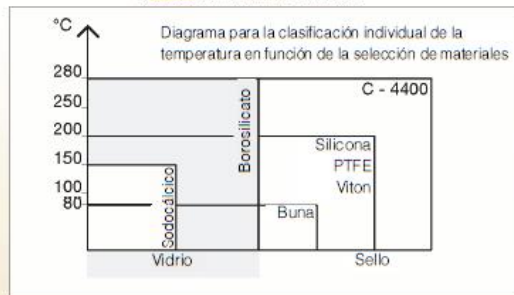
Acople de mirilla para soldadura a tope con una tuerca de cubierta roscada. Puerto de visualización para observar dentro de recipientes de procesos, silos, mezcladores, separadores, tuberías y otros contenedores normalmente cerrados. Especialmente adecuados para el procesamiento de productos farmacéuticos, alimentos y bebidas, por ejemplo, cervecerías, lecherías, etc.

Generalidades:

Acoples de mirilla específicos para la norma DIN 11851 (accesorios estándar lácteos) con vidrios circulares transparentes. Las boquillas roscadas tienen cuellos para soldadura.

Condiciones operativas

Presión: hasta 150 psi (dependiendo del tamaño), vacío
Temperatura: máx. 220 °C (ver diagrama de temperatura) basada en el anillo de sello



Acople de mirilla con cuello para soldar Serie MV completo

Combinaciones:

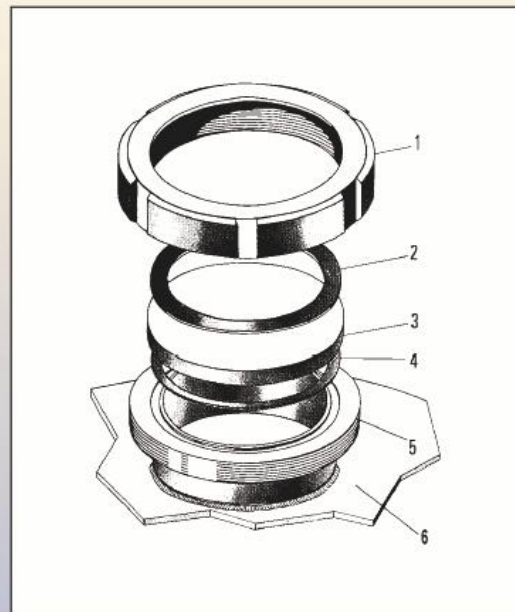
Esta unidad de mirilla se puede combinar con las luminarias Lumiglas para ser usada en áreas no peligrosas. Los limpiaparabrisas del tipo SW1 se pueden instalar en los tamaños DN 65 y mayores. La combinación de luminaria más limpiaparabrisas se puede colocar en el tamaño DN 125.

Partes y materiales: (dibujo a la derecha)

Ítems	Nombre de la pieza	Opciones para material
1	Tuerca de cubierta roscada	Acero inoxidable tipo 304
2	Junta de cojin	Sin asbesto
3	Disco de mirilla	Vidrio sodocálcico, templado para temperatura máx. de 150 °C; o vidrio de borosilicato, templado para temperatura máx. de 280 °C
4	Sello de anillo en D	Viton, PTFE, Buna, silicona (máx. 250 °C)
5	Boquilla con cuello para soldar	Acero inoxidable tipo: 316 L, 304; material ASME sólo disponible bajo petición
6	Pared del recipiente	

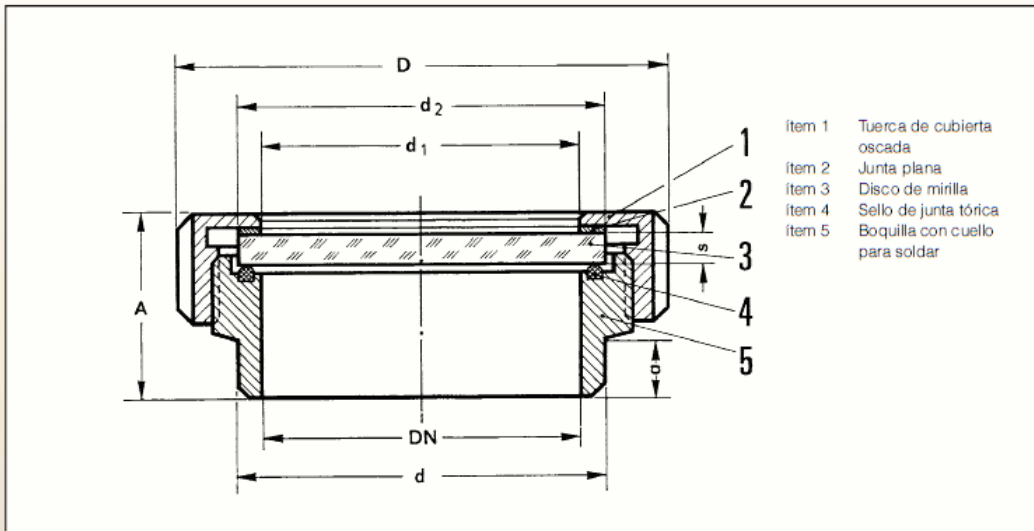
Ensamblado

Después de soldar la boquilla (5) en la pared del recipiente (6), ajustar el sello en forma de junta tórica (4), el disco de vidrio (3) y la junta (2) como se muestra en el dibujo a la derecha. apriete todas estas partes contra la boquilla con la tuerca de la cubierta (1). Utilice siempre la "llave de gancho" especial.



Vista de despiece de un acople de mirilla con cuello para soldar de la serie MV

Dimensiones de acoples de mirilla atornillada



Todas las medidas en mm, salvo que se indique lo contrario. Sujeto a cambios sin previo aviso

Tamaño		DN 50	DN 65	DN 80	DN 100	DN 125	DN 150
Orificio nominal	DN	50	65	80	100	125	150
Clasificación de presión (psig)	PN	150	150	150	150	90	90
Diámetro de visualización	d1*	50 (1,97")	65 (2,56")	80 (3,15")	100 (3,94")	125 (4,92")	150 (5,91")
Discos de mirilla	d2	63	80	94	113	141	166
	s	10	12	12	15	15	15
Acoples	D*	92 (3,62")	112 (4,41")	127 (5,00")	148 (5,83")	178 (7,01")	210 (8,27")
	d*	61 (2,40")	79 (3,11")	93 (3,66")	114 (4,49")	136 (5,35")	163 (6,42")
	A*	44 (1,73")	52 (2,05")	57 (2,24")	69 (2,72")	59 (2,32")	62 (2,44")
	a	21	24	25	34	22	22

Información para pedido:

Por favor especificar los ítems seleccionados como sigue:
 por ejemplo, serie MV, DN 80, presión nominal 150 psi
 Material preferido para: brida de soldadura, discos de vidrio, sellos. Tuerca de cubierta siempre 304

* Utilizar dimensiones en mm para precisión

CERTIFICADO DE QA ISO 9001
 FABRICANTE ALEMÁN
 F.H. PARENMEIER CERTIFICADO DE HOMOLOGACIÓN QA OTORGADO



L.J.STAR
 INCORPORATED

P.O. Box 1116 • Twinsburg, OH 44087 Tel.: 330 405 3040 • Fax: 330 405 3070 view@ljstar.com • www.ljstar.com

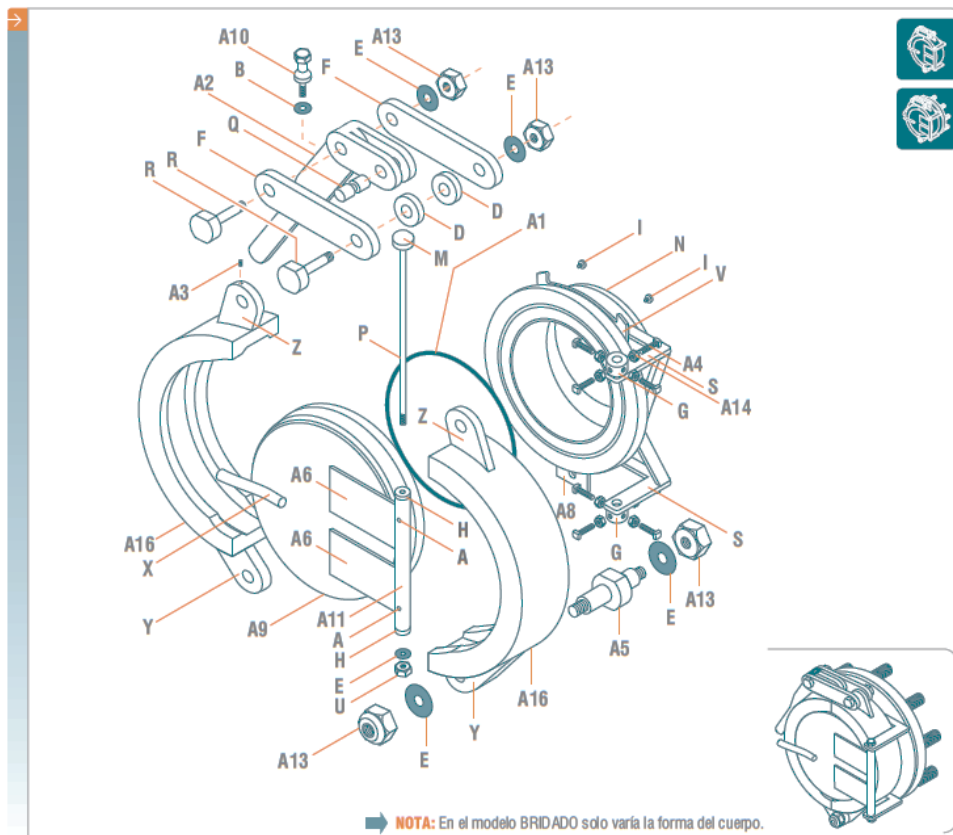
Anexo 3. Tapas de acceso rápido

04

2

Componentes del Producto

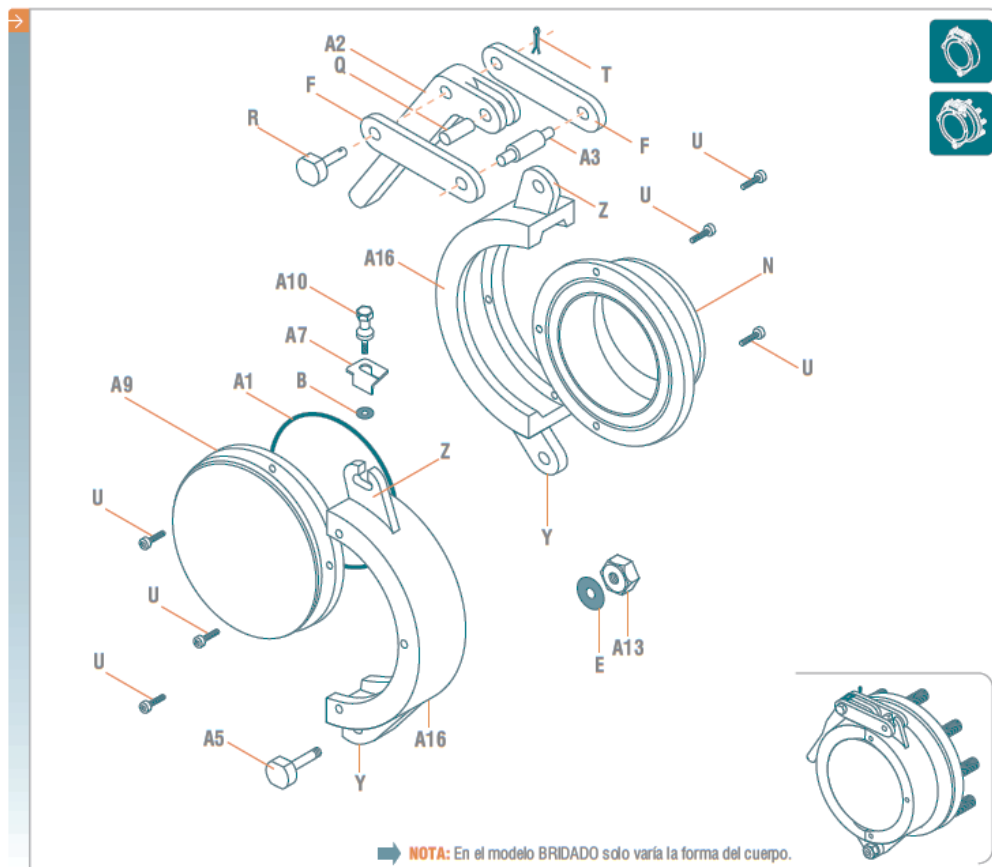
2.1 TAPA DE CIERRE RÁPIDO HORIZONTAL



REFERENCIAS

A.	Alemites Rectos	H.	Buje de Bronce Bisagra	O.	Dispositivo de Seguridad
B.	Arandela de Cobre	I.	Bujes Guia de Yugo	P.	Eje Bisagra
C.	Arandela Eje Apertura	J.	Bulon de Engrase	Q.	Eje de Accionamiento
D.	Arandela Separadora	K.	Bulon Pivot de Dispositivo	R.	Eje Roscado
E.	Arandelas Planas	L.	Bulones de cierre	S.	Escuadra
F.	Bielas	M.	Cabeza de Bisagra	V.	Guía de Apertura
G.	Buje Centrador Bisagra	N.	Cuerpo	W.	Guía de Eje

2.3 TAPA DE CIERRE RÁPIDO HORIZONTAL - APERTURA LATERAL



REFERENCIAS

B. Arandela de Cobre
 E. Arandelas Planas
 F. Bielas
 N. Cuerpo
 Q. Eje de Accionamiento
 R. Eje Roscado
 T. Espiga

U. Bulon Allen
 Y. Oreja Inferior
 Z. Oreja Superior
 A1. O-Ring
 A2. Palanca de Accionamiento
 A3. Prisionero
 A5. Quisionero

A7. Soporte Tornillo
 A9. Tapa
 A10. Tornillo de Venteo
 A13. Tuercas Autofrenantes
 A16. Yugo

Anexo 4. Medidor de presión

HOW TO ORDER TYPE S GENERAL SERVICE GAUGES

Standard Ranges—Type S Pressure (psi)



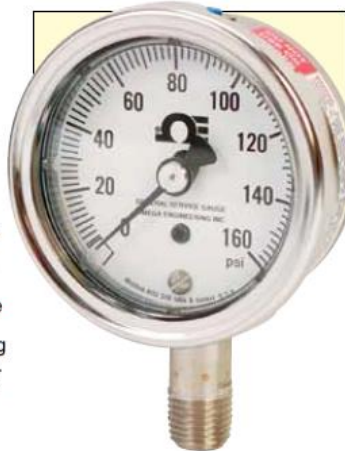
DIAL SIZE	MODEL NO.	CONNECTION
2½"	PGS-25L-[*] (to 600 psi)	Lower
	PGS-25L-[*] (over 600 psi)	Lower
	PGS-25B-[*] (to 600 psi)	Back
	PGS-25B-[*] (over 600 psi)	Back
3½"	PGS-35L-[*] (to 600 psi)	Lower
	PGS-35L-[*] (over 600 psi)	Lower
	PGS-35B-[*] (to 600 psi)	Back
	PGS-35B-[*] (over 600 psi)	Back

* Insert range code from table below. Comes complete with operator's manual.
Option: "X6B", oxygen service cleaning.
Ordering Example: PGS-25B-160, pressure gauge, general service type, 2½" dial, back connection, 0/160 psi range.

Pressure Range: Select a gauge with a full scale pressure range of approximately twice the normal operating pressure. The maximum operating pressure should not exceed approximately 75% of the full scale range. Failure to select a gauge range within these criteria may ultimately result in fatigue failure of the Bourdon tube.

Oil-Filled Gauges Also Available: Type S gauges are available on special order filled with silicone oil. The silicone oil is used to dampen the internal movement of the gauge when it is installed on vibrating equipment. The oil has an operating range of -40 to 66°C (-40 to 150°F). The maximum storage temperature of the gauge is 82°C (180°F).

To Order: Add suffix "F" to model number for an additional cost for 63 mm (2½") gauges or an additional cost for 89 mm (3½") gauges.



PGS-25L-160, shown smaller than actual size.



PGS-25L-100, shown smaller than actual size.

RANGE CODE	RANGE	FIGURE INTERVAL	MINOR GRADUATION
15	0/15	1	0.2
30	0/30	5	0.5
60	0/60	5	1
100	0/100	10	1
160	0/160	20	2
200	0/200	20	2
300	0/300	30	5
400	0/400	50	6
600	0/600	50	10
800	0/800	100	10
1000	0/1000	100	10
1500	0/1500	200	20
2000	0/2000	200	20
3000	0/3000	300	50
5000	0/5000	500	50
6000	0/6000	1000	100
7500	0/7500	1000	100
10,000	0/10,000	1000	100
VACUUM			
30V	30 to 0 inHg	5 inHg	0.5 inHg

Note: For Type S gauges with oxygen cleaning, gauge fill must be Halocarbon, for additional cost.
Ordering Example: PGS-25B-60-F, pressure gauge, general service type, 63 mm (2½") dial, 0/60 psi range, silicone oil filled.

Anexo 5. Electrodo de Tungsteno

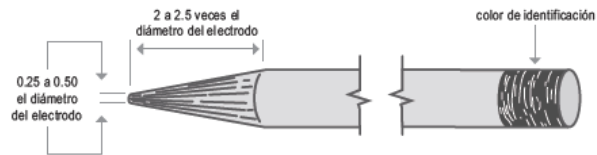


IDENTIFICACIÓN POR COLOR

Tipo	AWS/ISO	Color	Polaridad
• 2% Cerio	EWCe-2WC20	Gris Anteriormente naranja	C.D. / C.A.

PREPARACIÓN DEL TUNGSTENO PARA TRABAJAR CON CORRIENTE DIRECTA (C.D.)

1. Debe afilarse longitudinalmente (nunca radialmente)
2. El tamaño del filo debe ser entre 2 y 2.5 veces el diámetro del electrodo.
3. No afilar la punta (cono truncado)



PREPARACIÓN DEL TUNGSTENO PARA TRABAJAR CON CORRIENTE ALTERNA (C.A.)

Recomendable para soldar Aluminio

1. Afilarse el tungsteno de forma cónica con la punta trunca.
2. Comenzar a soldar con corriente alterna, el efecto de la corriente provoca que la punta se redondee.
3. Esta esfera no debe ser más grande que el diámetro del electrodo.



RANGOS DE CORRIENTE RECOMENDADOS PARA ELECTRODOS GTAW

CÓDIGO	DIÁMETRO (± 3 mm)		LARGO (± 0.5 mm)		RANGO DE CORRIENTE A.C.	RANGO DE CORRIENTE D.C.
RF57309	1/16"	1.6 mm	7"	177.8 mm	60-125	60 A - 150 A
RF57337	3/32"	2.4 mm	7"	177.8 mm	120-210	170 A - 275 A
RF57336	1/8"	3.2 mm	7"	177.8 mm	150-250	225 A - 330 A

NOTA: Electrodo Tungsteno 1/16"x7" 2% Cerio RF57309 / Bajo pedido.

NOTA: Todos los valores están basados en el uso de Argón, como gas de protección. Pueden utilizarse otros valores, dependiendo del tipo de gas de protección, equipo utilizado y tipo de aplicación.

¡¡ESCOGE TU EQUIPO DE SOLDAR AHORA!! / Choose Your Own Welding Gear Now!!

PARA MEJORES RESULTADOS DE SOLDADURA CON EQUIPOS LINCOLN ELECTRIC, SIEMPRE USE CONSUMIBLES DE LINCOLN ELECTRIC.

VISITE www.lincolnelectric.com.mx PARA MAS DETALLES

POLITICA DE ASISTENCIA AL CLIENTE

El negocio de la compañía Lincoln Electric es la fabricación y venta de equipos de soldadura, consumibles y equipos de corte. Nuestro reto es satisfacer las necesidades de nuestros clientes y exceder sus expectativas. En ocasiones, los compradores pueden solicitar información a Lincoln Electric para obtener asesoramiento sobre el uso de nuestros productos. Nuestro personal responde a las consultas a la medida de sus posibilidades, basándose en la información proporcionada a ellos por los clientes y el conocimiento que pueden tener relativo a la aplicación. Nuestros empleados, sin embargo, no están en condiciones de verificar la información recibida, o de evaluar los requerimientos de ingeniería para la soldadura en particular. En consecuencia, Lincoln Electric no garantiza, ni asume ninguna responsabilidad con respecto a dicha información o asesoramiento. Por otra parte, el suministro de dicha información o asesoramiento no crea, amplía o modifica ninguna garantía sobre nuestros productos. Cualquier garantía expresa o implícita que pudiera derivarse de la información o asesoría, incluyendo cualquier garantía implícita de comerciabilidad o cualquier garantía de aptitud para el uso de cualquier cliente particular, está específicamente excluida.

Lincoln Electric es un fabricante responsable, pero la selección y uso de productos específicos vendidos por el mismo está exclusivamente bajo el control de, y sigue siendo responsabilidad exclusiva del cliente. Muchas variables más allá del control de Lincoln Electric afectan los resultados obtenidos al aplicar estos tipos de métodos de fabricación y requerimientos de servicio. Sujeto a cambio - Esta información es exacta al mejor de nuestro conocimiento en el momento de la impresión. Consulte www.lincolnelectric.com.mx para obtener información actualizada. Lincoln Electric Manufactura S.A. de C.V., Calz. Azcapotzalco La Villa, Nº 869, Col. Industrial Vallejo, Azcapotzalco, México D.F., C.P. 02900. Conmutador: (52) 5063-0030

LINCOLN
ELECTRIC
THE WELDING EXPERTS®

Anexo 6. Sello C-4400



KLINGERSil C-4400

High quality non-asbestos grade based on aramid fibre with nitrile rubber binder. A general purpose material for many industrial-sealing applications.

The Klinger group has been recognised as the market leader in gaskets and sealing for over a century. Our research and development laboratories have investigated over 250 different fibre forms in the search for asbestos free alternatives. The search has resulted in a range of high quality and high performance asbestos free materials that have been proven in service

General Properties

- Good resistance to oils, fuels, hydrocarbons
- Good creep resistance
- Low leakage
- Very successful in internal combustion engine applications
- 3xA anti-stick finish on both sides

Tests and Certifications

- BS 7531 Grade Y
- BS F 130 Type A
- Firesafe HTB 90.0223.39.0
- DIN-DVGW
- BAM U W28 for use with oxygen 100°C / 80 Bar
- KTW A 528/88/G
- SVGW 89-053-7
- Germanischer Lloyd 98 952 – 97 HH
- TA-Luft (Clean Air) certificate acc. VDI 2440

Availability

- **Sheeting (m):** 2.0 x 1.5*, 4.0 x 1.5, 1.5 x 1.0
- **Thickness (mm):** 0.25, 0.4, 0.5, 0.75, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0

* - Denotes standard sheet size

Also available with re-inforcements:
KLINGERSil C-4408, mild steel mesh
KLINGERSil C-4409, expanded mild steel

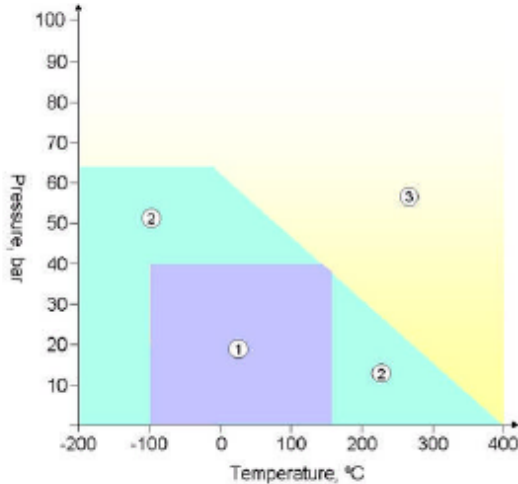


aerospace
sector
certification
scheme

BS EN 9100:2009, ISO 9001:2008
Certificate no. FM 10571



KLINGERSil C-4400



Application Guidelines

1. Usually satisfactory without reference.
2. Usually satisfactory, but suggest you refer to Klinger for advice
3. Caution: May be suitable but essential that you refer to Klinger for advice.

Chemical compatibility must be considered in all cases.

Typical Specifications

Compressibility ASTM F 36 A		11%
Recovery ASTM F 36 A		55%
Stress relaxation DIN 52913	50MPa, 16h/175°C	32MPa
	50MPa, 16h/300°C	25MPa
Stress relaxation BS 7531		23MPa
Klinger cold/hot compression, 50MPa	Thickness decrease 23°C	10%
	Thickness decrease at 300°C	20%
Gas leakage according to DIN 3535/6		0.02ml/min
Thickness increase after fluid immersion ASTM F 146	Oil no.3:5h/150°C	3%
	Fuel B:5h/23°C	5%
Chlorides (soluble)		150ppm
Density		1.6g/cm ³
Average surface resistance	R _{OA}	1.4x10E12 Ω
Average specific volume resistance	ρ _D	1.2x10E12 Ω cm
Average dielectric strength		21.6 kV/mm
Average power factor	1kHz, ca. 2mm thick	0.075 tan δ
Average dielectric constant	1kHz, ca.2mm thick	7.7 ε
Thermal conductivity		0.4-0.42W/mK

Head Office

KLINGER Ltd
Wharfedale Road
Euroway Trading Estate
Bradford BD4 6SG

Tel: 01274 688 222
Fax: 01274 688 549
enquiries@klingeruk.co.uk
www.klingeruk.co.uk

Klinger Ltd. Grangemouth
Tel: 01324 472 231
Fax: 01324 482 111

Klinger Ltd. Runcom
Tel: 01928 577 030
Fax: 01928 575 223

Klinger Ltd. Aberdeen
Tel: 01224 772 962
Fax: 01224 772 953

Klinger Ltd. Middlesbrough
Tel: 01642 220 289
Fax: 01642 220 290

Klinger Ltd. Southampton
Tel: 023 8061 1855
Fax: 023 8061 0360

All information and recommendations contained in this specification sheet are to the best of our knowledge correct. Since conditions of use are beyond our control, users must satisfy themselves that the products are suitable for the intended processes and uses. No warranty is given or implied in respect of information or recommendations or that any use of products will not infringe rights belonging to other parties. In any event or occurrence our liability is limited to our invoice value of the goods delivered by us to you. We reserve the right to change product design and properties without notice