



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MESA DE AGUA PARA
CORTADORA PLASMA CNC EN LA EMPRESA METALMECÁNICA
“BINIMELIZ S.A.”**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERA CIVIL MECÁNICA

CATALINA NAHOMI VICENCIO SALAS

PROFESOR GUÍA:
RUBÉN FERNÁNDEZ URRUTIA

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
RADHA MANOHAR AEPURU
AQUILES SEPÚLVEDA OSSES

SANTIAGO DE CHILE
2024

RESUMEN DE LA MEMORIA PARA OPTAR
AL TÍTULO DE INGENIERA CIVIL MECÁNICA
POR: CATALINA NAHOMI VICENCIO SALAS
FECHA: 2024
PROF. GUÍA: RUBÉN FERNÁNDEZ URRUTIA

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MESA DE AGUA PARA CORTADORA PLASMA CNC EN LA EMPRESA METALMECÁNICA “BINIMELIZ S.A.”

La maestranza BINIMELIZ S.A. cuenta con un equipo de corte por plasma CNC de tipo pórtico, este equipo corta planchas de metal con la forma que se programe previamente en la máquina, sin embargo, necesita una mesa de trabajo en la cual apoyar el material y que además mitigue la contaminación que este tipo de corte produce, es por esto que se propone el diseño y construcción de una mesa de corte adecuada para la capacidad y dimensiones de la cortadora plasma.

El funcionamiento del equipo de corte por plasma se divide en distintos componentes como son el gas plasmágeno, la fuente de energía, la antorcha y la placa de corte, la cual es apoyada en una mesa de trabajo. Este proceso genera humos tóxicos, por lo que su uso requiere condiciones de seguridad.

El objetivo principal es el diseño y construcción de una mesa de agua para una cortadora plasma CNC de tipo pórtico con capacidad de corte de 2.5mx6m. Esto incluye recabar antecedentes del corte plasma y las mesas de corte, además de caracterizar las necesidades y recursos de la empresa. El diseño estará basado en criterios centrados en la manufactura local.

El proyecto se divide en dos etapas: diseño, construcción y evaluación. Los primeros diseños de esta mesa, así como la selección de materiales, fue realizado con el software de diseño SOLIDWORKS 2020; la construcción y evaluación de la mesa de agua, se llevó a cabo en el área de estructuras de la maestranza BINIMELIZ S.A.

La mesa fue evaluada en la integridad de la estructura y el sellado correspondiente a cada una de sus secciones. Al encontrarse filtraciones estas fueron solucionadas según lo planeado. El corte se pudo llevar a cabo en las instancias de prueba, lo que permite operar el equipo en el área de estructuras, llegando a la conclusión de que la mesa permite el corte en todo su largo.

La evaluación sobre los rangos en que se encontraban las emisiones de humos metálicos fue realizada por la mutual de seguridad, concluyendo que las emisiones están dentro de lo permitido, ubicando a el riesgo en muy bajo. Cabe destacar que es una medición puntual y debe volver a medirse si se cambian las condiciones.

A partir de la evaluación hecha al diseño se puede identificar el cumplimiento de funciones objetivo del sistema, como es el tener un área de corte correspondiente a los equipos y mantener las emisiones a niveles seguros.

Sí se pudo
Saludos

Agradecimientos

Partir agradeciendo a mi familia y amigos por animarme y a acompañarme en este proceso universitario.

A Binimeliz S.A., por creer y apoyarme en este proyecto, espero que este trabajo sea un aporte en sus trabajos futuros.

Aprecio el apoyo las secretarias que me mantuvieron en línea y de los profesores miembros de la comisión por su interés y apoyo para terminar este arduo proceso.

Tabla de Contenido

1. Introducción	1
1.1. Objetivos	1
1.1.1. Objetivo General	1
1.1.2. Objetivos específicos	1
1.2. Alcances	1
2. Antecedentes	3
2.1. Plasma	3
2.2. Corte con arco de plasma (PAC)	3
2.3. Funcionamiento del equipo de corte por plasma	4
2.4. Tipos de corte por plasma	5
2.5. Riesgo y precauciones en corte por Plasma	6
2.6. Mesa de corte	7
2.6.1. Mesa con agua	7
2.6.2. Sistema basado en aspiración (“mesas secas”)	8
2.6.3. Criterios más importantes a considerar	9
2.6.3.1. Nivel de ruido	9
2.6.3.2. Radiación ionizante	9
2.6.3.3. Distorsión dimensional	10
2.6.3.4. Costo de la mesa	10
2.6.3.5. Contención de humo y polvo	11
2.6.3.6. Limpieza	11
2.6.3.7. Mantenimiento	12
2.6.3.8. Más a tener en cuenta	12
2.7. Equipos en BINIMELIZ S.A.	12
3. Metodología	15
3.1. Criterios de diseño	15
3.2. Subsistemas	16
3.2.1. Estructura principal	16
3.2.2. Sistema de control de emisiones	16
3.2.3. Barras de corte	16
4. Diseño	17
4.1. Diseño inicial	17
4.2. Memoria de calculo	24
4.2.1. Barras de corte	24
4.2.2. Apoyo central	26

4.2.3. Campanas	28
4.2.4. Estructura principal	29
4.3. Diseño final	29
4.3.1. Materiales	30
5. Planificación	32
6. Fabricación	33
7. Evaluación	42
7.1. Medición de humos metálicos	42
7.2. Análisis	42
8. Conclusiones	44
8.1. Recomendaciones	44
Bibliografía	45
Anexo A. Memorias de calculo	47
A.1. Metodología	47
A.2. Simulaciones SolidWorks	49
Anexo B. Informe humos metálicos	57

Índice de Tablas

4.1.	Datos apoyo central	27
4.2.	Cálculos diferentes apoyos.	27
7.1.	Medición de humos metálico	42

Índice de Ilustraciones

2.1.	Corte con arco plasma (PAC)[2].	4
2.2.	Componentes básicos cortadora plasma.	4
2.3.	Corte por plasma manual (izquierda) y CNC (derecha) [10].	6
2.4.	Barras de corte nuevas y gastadas.	7
2.5.	Mesa de agua con control de nivel [9].	8
2.6.	Mesa seca.	9
2.7.	Brillo de arco en mesa seca (izquierda) y en corte sumergido (derecha).	10
2.8.	Pieza cortada en plasma, bordes irregularidades.	10
2.9.	La mesa de corte CNC HNC-3000G.	13
2.10.	Compresor.	13
4.1.	Mesa de corte usada en la empresa.	17
4.2.	Configuraciones de la barras de corte.	18
4.3.	Diseño inicial campana.	19
4.4.	Diseño inicial mesa de agua	19
4.5.	Vibrashock.	20
4.6.	Vista parcial de los refuerzos en la estructura.	20
4.7.	Enrejado interior desarmado.	21
4.8.	Apoyo central barras de corte.	22
4.9.	Soporte central.	22
4.10.	Apoyo lateral antes y después de la modificación.	23
4.11.	Barras de corte en diferentes geometrías.	23
4.12.	Barra de corte y fuerzas externas	25
4.13.	Barra de corte y fuerzas.	25
4.14.	Configuraciones de la barras de corte, multiples apoyos.	26
4.15.	Forma del apoyo central	26
4.16.	Diseño final mesa de agua.	30
6.1.	Armado de piscina con las paredes laterales.	33
6.2.	Volteo de la base de la estructura.	34
6.3.	Armado de piscina con las paredes laterales	34
6.4.	Otros elementos de la mesa de corte.	35
6.5.	Armado del enrejado interior.	36
6.6.	Armado de piscina con campanas y enrejado interior.	36
6.7.	Apoyos y soportes barras de corte.	37
6.8.	Mesa pintada con anticorrosivo.	37
6.9.	Campana pintada con anticorrosivo.	38
6.10.	Mesa pintada con con esmalte sintético para metales.	38
6.11.	Filtraciones encontradas en el llenado parcial.	39
6.12.	Mesa de agua soldada en puntos de unión.	39

6.13.	Cuatro salidas para las campanas.	40
6.14.	Válvulas de entrada y salida para el sistema neumático.	40
6.15.	Mesa de agua completa.	41
A.1.	Relación cinemática desplazamiento – deformación:	47
A.2.	Ecuación de equilibrio de Cauchy	48
A.3.	Propiedades barra de corte	49
A.4.	Tensiones de Von Mises en barra de corte.	49
A.5.	Factor de seguridad en barra de corte.	50
A.6.	Propiedades Apoyo centro	50
A.7.	Tensiones de Von Mises en apoyo central largo 3,1 m.	51
A.8.	Factor de seguridad en apoyo central largo 3,1 m.. . . .	51
A.9.	Tensiones de Von Mises en apoyo central largo 1,55 m.	52
A.10.	Factor de seguridad en apoyo central largo 1,55 m.. . . .	52
A.11.	Propiedades soporte.	53
A.12.	Cargas y sujeciones soporte.	53
A.13.	Tensiones de Von Mises cruz	54
A.14.	Factor de seguridad cruz.	54
A.15.	Lateral de la estructura, perfiles y ángulos	55
A.16.	Cargas y sujeciones lateral de la estructura.	55
A.17.	Tensiones de Von Mises lateral de la estructura.	56
A.18.	Factor de seguridad cruz.	56

Capítulo 1

Introducción

La maestranza “BINIMELIZ S.A.”, también llamada “empresa” en este documento, delega parte de sus necesidades productivas a externos, una de estas es el corte de planchas, sin embargo, la calidad del servicio y los tiempos de espera no es la óptima.

Actualmente se cuenta con un equipo de corte por plasma de tipo pórtico, pero se cuenta solo con una antigua mesa de corte de 1 m^2 para oxicorte.

Por estas razones se decidió optar por el diseño y construcción de una mesa adecuada para la capacidad y dimensiones de la cortadora plasma.

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo General

Diseñar y construir una mesa de agua para una cortadora plasma CNC de tipo pórtico que amplíe la capacidad de corte del equipo.

1.1.2. Objetivos específicos

- Levantar las medidas críticas de la cortadora plasma que permitan ampliar al máximo la capacidad del equipo dada por el fabricante.
- Evaluar y seleccionar subsistemas, como son el sistema de control de emisiones, la estructura general y las barras de corte, para establecer el diseño final.
- Construir el diseño final en el área de estructuras de “BINIMELIZ S.A.”
- Evaluar el funcionamiento del sistema al ser instalado con los equipos existentes, considerando la integridad del equipo y su nivel de contención de emisiones.

1.2. Alcances

El alcance de este trabajo es desarrollar el diseño de una mesa de agua para cortadora plasma, obteniendo una ingeniería a nivel de detalle, para su posterior construcción. Esto contempla:

- Caracterizar el público objetivo, estableciendo los principales criterios de diseño.
- Selección de material según disponibilidad y costos.
- Diseño de una mesa de agua para corte plasma, esto contempla la estructura y el sistema neumático.
- Generar planos a nivel de detalle para la construcción de forma interna¹.
- Construcción del diseño en el área de estructuras de “BINIMELIZ S.A.”.
- Evaluación del correcto funcionamiento de la mesa de trabajo con la cortadora plasma Hypertherm Powermax 105’ y la mesa de corte CNC HNC-3000G con la que cuenta la empresa.

El desarrollo de este trabajo no contempla los planes de mantenimiento, solo de la documentación antes mencionada.

¹ La empresa tiene pretensiones comerciales con la mesa de agua para corte plasma, por lo que no se publicaran los planos finales.

Capítulo 2

Antecedentes

2.1. Plasma

Se considera un estado de la materia como un sólido, líquido o gas. La diferencia entre estos estados son sus niveles de energía relativos. Cuando se aporta energía en forma de calor al hielo, éste se derrite y se transforma en agua; si se agrega más energía, el agua se evapora y se transforma en vapor. Si se pudiese agregar al vapor una energía considerablemente mayor (calentarlo a aproximadamente $11,700^{\circ}\text{C}$), se descompondría en una variedad de gases y se transformaría en un conductor de electricidad o en gas ionizado. A este gas ionizado con alto nivel de energía se le llama plasma [1].

Un sistema de corte por plasma usa un flujo de plasma para transferir la energía a un material conductor. El flujo de plasma normalmente se forma al hacer que un gas como el nitrógeno, oxígeno, argón, o hasta el aire, pase por una boquilla estrecha. Una corriente eléctrica producida por una fuente de energía externa agrega la energía suficiente para que el flujo de gas lo ionice y lo convierta en arco de plasma con temperaturas que alcanzan los $40\,000^{\circ}\text{F}$. El arco de plasma corta la pieza al derretirla y disipa el metal derretido [1].

2.2. Corte con arco de plasma (PAC)

Un plasma se define como un gas supercalentado y ionizado eléctricamente. El corte con arco de plasma (PAC por sus siglas en inglés) usa una corriente de plasma que opera a altas temperaturas. El flujo de plasma normalmente se forma al hacer que un gas como el nitrógeno, oxígeno, argón, o hasta el aire, pase por una boquilla estrecha para cortar metal por fusión [2] como se muestra en la figura 2.1.

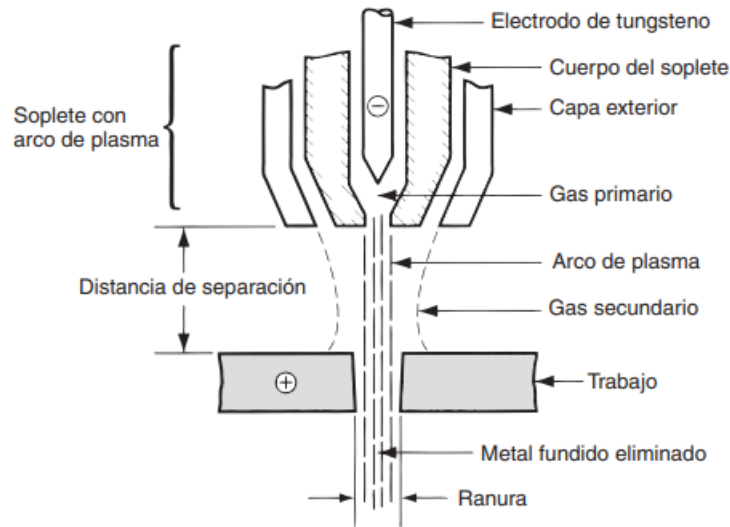


Figura 2.1: Corte con arco plasma (PAC)[2].

La mayoría de las aplicaciones del PAC implican el corte de láminas de metal y placas planas. El corte con arco de plasma puede usarse para cortar casi cualquier metal eléctricamente conductivo.

Con frecuencia los metales cortados mediante PAC incluyen aceros al carbono simple, el acero inoxidable y el aluminio. Para materiales más gruesos, las velocidades de avance deben reducirse. Las desventajas del PAC son: 1) la superficie de corte es áspera y 2) el daño metalúrgico en la superficie es el más severo entre los procesos metalúrgicos no tradicionales.

2.3. Funcionamiento del equipo de corte por plasma

Los componentes básicos de un equipo se muestran en la figura 2.2 y se detallan a continuación.

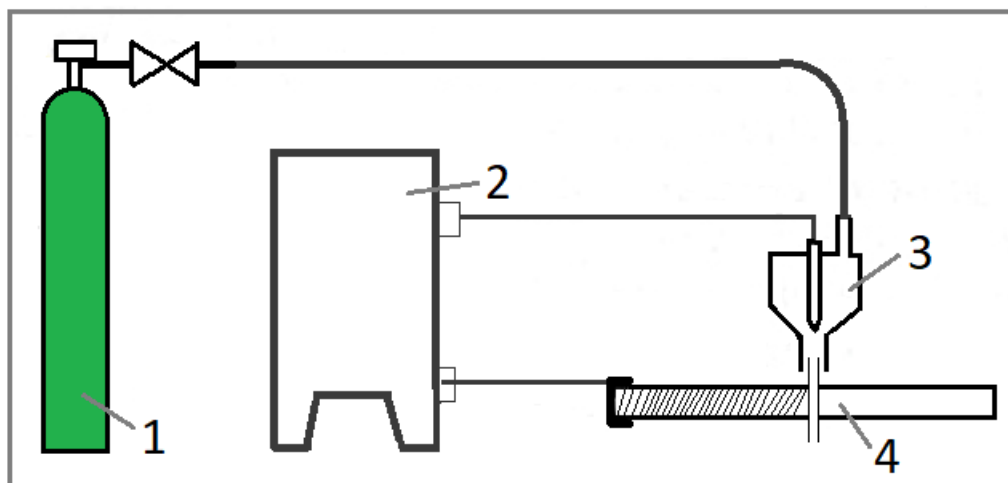


Figura 2.2: Componentes básicos cortadora plasma.

1. **Cilindro de gas plasmágeno:** Para el corte plasma se deben usar gases, llamados gases primarios, para crear el plasma. Los más usados son aire, nitrógeno, argón con hidrógeno o una mezcla de estos. También están los gases secundarios (o agua) que se utilizan alrededor del chorro de plasma, este ayuda a confinar el arco y limpiar el canal de metal fundido para evitar la acumulación de escoria [?].
2. **Fuente de energía** - Una fuente de alimentación de corriente constante. La corriente de salida (amperaje) y la clasificación general en kilovatios de la fuente de energía determina la velocidad y la capacidad del espesor de corte del sistema. La principal función de la fuente de energía es suministrar la energía correcta para mantener el arco de plasma después de la ionización [1].
3. **Antorcha** - Sirve de soporte a la boquilla y al electrodo consumibles y para refrigerar (con agua o gas) estas piezas. La boquilla y el electrodo constriñen y mantienen el chorro de plasma [1]. De los componentes que conforman la antorcha, el electrodo y la tobera (o punta) son los únicos elementos consumibles, que se van gastando a cada corte. Si uno de estos elementos esta gastado o dañado, la calidad de corte se verá afectada [3].
4. **Placa:** La plancha de trabajo que se cortara, la cual puede ser casi cualquier metal eléctricamente conductor, como se dijo anteriormente los metales cortados mediante PAC con mayor frecuencia son aceros al carbono simple, el acero inoxidable y el aluminio. La placa se apoya en una mesa de trabajo.

El transformador eléctrico produce la tensión necesaria para establecer un arco eléctrico entre el electrodo y la tobera o punta, que están separados por el difusor, este arco se denomina arco piloto.

Entre estos dos elementos se hace pasar el aire comprimido por un orificio muy pequeño, produciéndose una temperatura muy elevada que provoca que el aire se ionice y se transforme en un aglomerado de iones positivos, átomos neutros y electrones libres, convirtiéndose en conductor eléctrico (el aire ionizado es el plasma). Cuando la pieza a cortar y el electrodo están lo suficientemente cerca, el arco cruza el espacio existente entre ambos elementos, produciendo un plasma que funde una zona estrecha del metal que se disipa en forma de gas y partículas dejando un corte limpio. Para evitar que los elementos consumibles se calienten en exceso, se hace circular una corriente de aire entre el porta-tobera y la tobera o punta, que al no pasar por el arco eléctrico es perfectamente apto para la función de refrigeración [4] .

2.4. Tipos de corte por plasma

CORTE POR PLASMA MANUAL

En este tipo de corte el operador debe manejar manualmente la antorcha para guiar el chorro de plasma para realizar el corte. Este tipo de corte depende de la expertiz del operador, es recomendado cuando no se deben hacer cortes de forma repetitiva, no ofrece tanta precisión y puede representar un riesgo para el personal.[5]

CORTE POR PLASMA CNC

CNC es la sigla de Control Numérico por Computador, por lo que implica una maquina en el proceso. Se trata de un sistema donde deben programarse los cortes que se requieren. Se recomienda ampliamente para las industrias donde se requieran cortes de forma repetida y para múltiples piezas. No requiere de intervenciones manuales, lo que evita errores humanos, garantizando cortes precisos y rápidos.[5]

Ambos tipos de corte se pueden ver en la figura 2.3, donde además se aprecia que el operador debe usar guantes para manipular el equipo en el corte plasma manual.



Figura 2.3: Corte por plasma manual (izquierda) y CNC (derecha) [10].

2.5. Riesgo y precauciones en corte por Plasma

El cortar produce humos y gases. Respirando estos humos y gases pueden ser peligrosos a su salud [7].

Los humos se producen por los vapores originados en la pieza cuando se corta. Cuando se cortan piezas tratadas superficialmente, en los humos generados pueden arrastrarse sustancias nocivas para la salud, depende del tratamiento que haya recibido la pieza[7].

La cantidad de humos generados en procesos de corte depende de múltiples factores, pero es mayor cuanto más exigentes son las condiciones del proceso. Algunos de los factores que pueden mencionarse son el espesor de la pieza a cortar, la intensidad de corriente utilizada, el tipo de proceso (bajo agua, con cortina de agua o corte sin medidas de protección) y el número de torchas utilizadas. También las áreas circundantes (como paredes reflectivas) tienen efecto sobre la radiación generada [6].

Durante el proceso de corte plasma “seco”, se recomienda extraer los humos por debajo de la pieza a cortar, mientras que en los sistemas de corte sobre-bajo agua se coloca la tobera de extracción por encima de la torcha de corte por plasma [6].

2.6. Mesa de corte

Aun cuando hay muchos diseños de mesa de corte, para el corte con plasma y oxicom bustible, la elección de la mesa de trabajo con frecuencia se limita a una **mesa de agua o a un sistema seco** (o de tiro inferior) los dos estilos de mesa más comunes. La función principal de ambos sistemas es contener el polvo y el humo que genera el proceso de corte.[8]

Cabe destacar que sin importar el modelo este debe tener barras de corte, que es donde se apoyara la placa. Estas barras pueden variar en la forma y se desgastan por el propio proceso de corte, como se puede ver en la figura 2.4, por lo que debe considerarse su remplazo de forma periódica.



Figura 2.4: Barras de corte nuevas y gastadas.

2.6.1. Mesa con agua

Este diseño delega la contención de humo y polvo en el agua.

Los modelos que usan agua son 2, el más simple consiste en una bandeja poco profunda que se colocan debajo de la superficie de corte. Cuando la antorcha realiza su trabajo de corte del metal, la fuerza del chorro de plasma conduce las chispas y el polvo hacia el agua, donde se atenúan rápidamente.

El segundo permite un control del nivel del agua usando desplazamiento neumático para ascender o descender el nivel del líquido (vea la figura 2.5), dando más opciones al tipo de corte al poder sumergir la placa, puede usarse para el corte con plasma y con oxicom bustible.

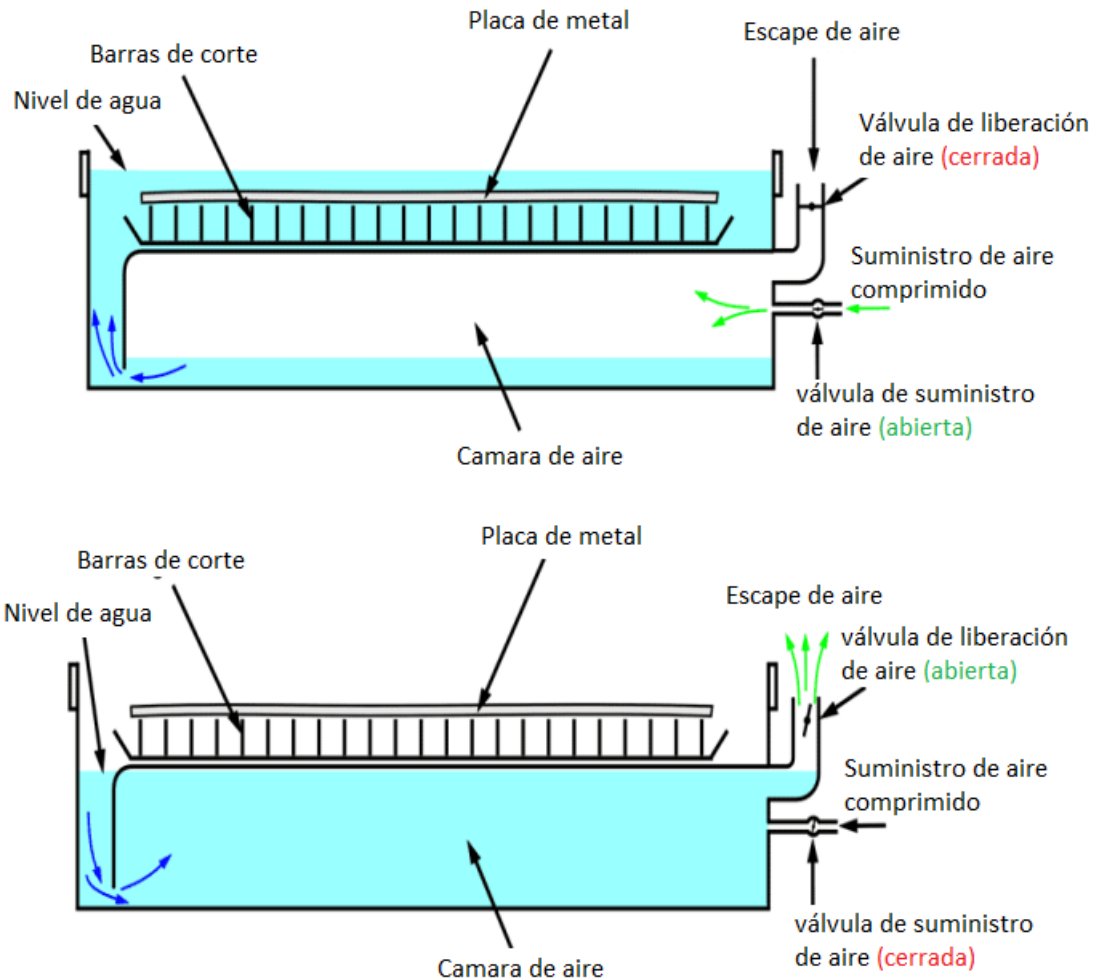


Figura 2.5: Mesa de agua con control de nivel [9].

Este modelo permite el corte sumergido, el cual tiene como ventajas absorbe la mayor parte del humo del plasma, eliminando la necesidad de un colector de humo. Disminución del ruido típico del proceso y mayor protección a la radiación ionizante (que daña la vista del operario) al sumergir el arco.

Para el corte con oxicom bustible, el agua no puede estar sobre la superficie de la placa, pero puede estar muy cerca de la parte inferior de la placa.

2.6.2. Sistema basado en aspiración (“mesas secas”)

También llamadas de tiro inferior cuentan con un sistema de aspiración de las emisiones, el mecanismo consiste en la extracción por corriente descendente dispuesto debajo de la mesa y un extractor que succiona el aire conduciéndolo, por los laterales de la mesa, hacia el exterior, puede además contar con un sistema de filtración de aire. El modelo se explica en la Figura 2.6

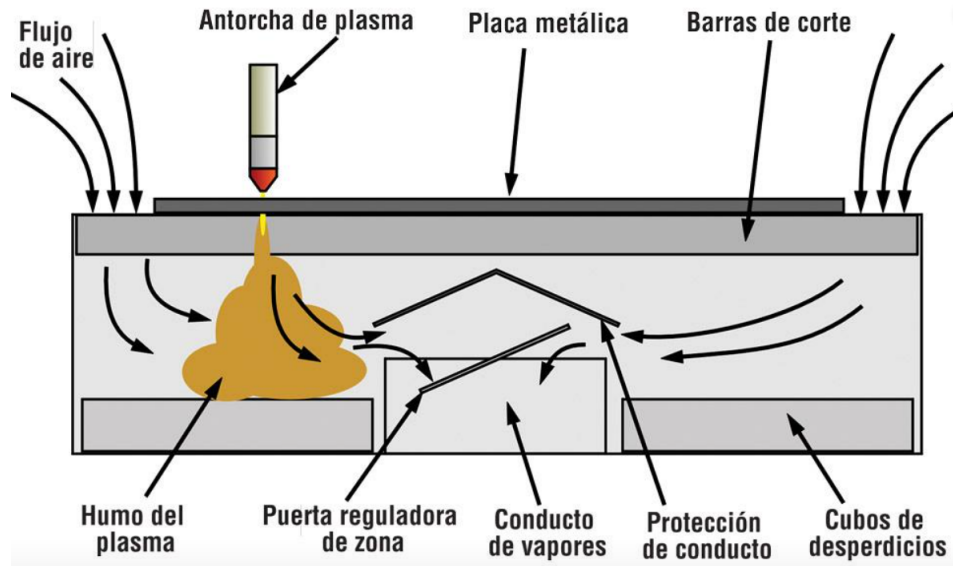


Figura 2.6: Mesa seca.

2.6.3. Criterios más importantes a considerar

2.6.3.1. Nivel de ruido

La exposición al ruido estable o fluctuante durante la jornada laboral (8 horas) no debe superar los 85 decibeles, medidos en la posición del oído del trabajador. Si los niveles de presión sonora fueran superiores a 85 decibeles, el tiempo de exposición al ruido deber disminuir [11].

- El corte con plasma en seco pueden ser de hasta 120 decibeles.
- El corte bajo agua reduce el nivel de ruido hasta 40 dB.

2.6.3.2. Radiación ionizante

El arco de corte con plasma es un arco eléctrico cuya corriente está típicamente entre 100 y 800 amperes, el cual emite un amplio espectro de radiación electromagnética, por lo que se deben tomar medidas de seguridad. Solo en el caso del corte sumergido se reduce el brillo característico, sin embargo el operador sigue usando protección ocular, la brillantez del arco se puede ver en la figura 2.7.

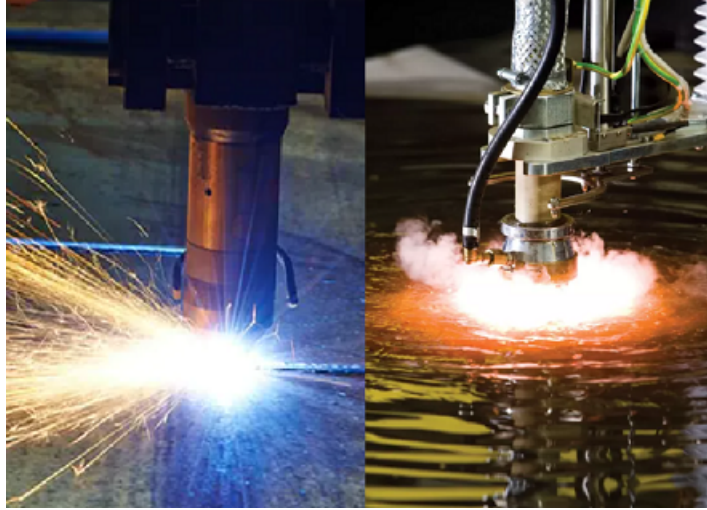


Figura 2.7: Brillo de arco en mesa seca (izquierda) y en corte sumergido (derecha).

2.6.3.3. Distorsión dimensional

El corte plasma calienta el material al cortarlo, durante el corte de la lámina de metal, este es plásticamente deformada hasta que se enfría a la temperatura inicial, que se denomina deformación por calor final [12]. Esta deformación se puede mitigar con el correcto uso de la máquina, la cual establece las distancias, potencia y velocidad de corte para cada material y espesor.

La deformación por calor causa expansión y contracción del material, lo que puede dar lugar a irregularidades en el corte sobre todo en secciones delgadas, un ejemplo de esto se puede ver en la figura 2.8.



Figura 2.8: Pieza cortada en plasma, bordes irregularidades.

El corte bajo el agua reduce esta distorsión, además que al enfriar la placa más rápido permite su manipulación de manera casi inmediata.

2.6.3.4. Costo de la mesa

Para el corte plasma el costo de la mesa puede ser uno de los componentes más caros del sistema, por esto destaca el diseño simple de las mesas de agua por sobre las mesas secas.

Como resultado y dependiendo del tamaño, una mesa de tiro inferior usualmente cuesta de 40 a 60 por ciento más que una mesa de agua [8].

2.6.3.5. Contención de humo y polvo

Tanto las mesas de agua como las mesas secas pueden cumplir con esta tarea

1. Mesas de agua: puede capturar de 90 a 95 por ciento del humo y del polvo generados por el corte con plasma[8]. El nivel de contención depende de:
 - a) El material que se corte.
 - b) El amperaje del corte.
 - c) El nivel del agua.
2. La mesa de tiro inferior: Los sistemas de recolección de polvo están diseñados con porcentajes de cobertura **mínima** específicos, típicamente entre 50% y 75%. En general captura casi todo el humo y el polvo, siempre que se cumplan ciertos criterios[8].
 - a) Los filtros deben estar en buenas condiciones.
 - b) Debe bajar aire con suficiente velocidad hacia el área abierta de la mesa para evitar que el humo se salga y escape a la captura.
 - c) Es más efectivo cuando sobre la mesa hay una placa de tamaño máximo, entre más parte de la mesa queda expuesta, la velocidad del aire se reduce, afectando la capacidad de la mesa para contener humo y polvo.

2.6.3.6. Limpieza

Limpiar la mesa de corte es una de las tareas más difíciles y que requieren mayor tiempo asociadas con el corte térmico. La frecuencia de la limpieza depende del ritmo de producción, del espesor de los materiales y del tipo de partes que se corten. Algunos talleres tienen que limpiar sus mesas una vez al mes; otros pueden tardar un año o más.

1. La mesa de agua: El diseño dicta lo difícil que será la tarea. La mayoría de las mesas de agua tienen charolas extraíbles que pueden quitarse para facilitar la limpieza.

El agua debe cambiarse o rellenarse periódicamente, ya que esta se pierde por evaporación y salpicaduras, sin embargo, se forma un sedimento en la parte inferior que debe ser considerado en la limpieza del sistema.
2. Las mesas de tiro inferior: Dependiendo del diseño de la mesa, puede ser necesario quitar las tablillas y extraer los cubos de escoria para vaciarlos. Hay mesas de tiro inferior con auto-limpieza, pero agregan otro nivel de complejidad y mantenimiento para mantenerlas operando.

2.6.3.7. Mantenimiento

El mantenimiento de rutina de una mesa de agua es relativamente sencillo debido a la naturaleza simple de su diseño. En su forma más simple, una mesa de agua es un tanque. Hasta los sistemas más complejos de mesa de agua tienen poco más que unos pocos componentes: válvulas solenoide, interruptores flotadores, interruptores eléctricos, y quizá algunos cilindros neumáticos[8].

Un sistema de mesa de tiro inferior, debido a su diseño más complejo, requiere un nivel más alto de mantenimiento para conservarlo en buenas condiciones operacionales. Muchos de los componentes de la mesa están expuestos al proceso de corte, donde es más probable que se dañen o desgasten.

Las mesas más grandes tienen más complejidad debido al número de zonas, cada una de las cuales tiene una puerta reguladora y varios componentes para actuar esa puerta. Además, se suma el colector de polvo a los requerimientos de mantenimiento[8].

2.6.3.8. Más a tener en cuenta

Espesor del material: El acero suave, el acero inoxidable y el aluminio de hasta 2 pulgadas de espesor puede cortarse bajo agua, con la placa sumergida de 2 a 3 pulgadas (51 a 76 mm). Tratar de cortar bajo agua material más grueso reducirá significativamente la velocidad de corte y generará escoria sustancial.

Calidad del corte: El corte con plasma bajo agua no se recomienda para placa delgada de menos de 0,25 pulgadas (6,35 mm) de espesor. La cortina de aire puede causar problemas con la calidad del corte, y es muy probable que la placa se mueva.

Ya sea que una parte de acero suave se corte en una mesa de agua o en una mesa de tiro inferior, cuando está recién cortada y se expone al ambiente, la parte se corroe rápidamente.

Dependiendo del espesor y de los ajustes del plasma, el agua podría causar que más escoria se adhiriera al borde inferior de las partes y podría también afectar la calidad de corte del borde induciendo ondulaciones. Sin embargo, la mayor parte del corte bajo agua alcanza los mismos resultados que el corte en seco cuando se usa una cortina de aire y se siguen los parámetros y los procedimientos correctos.

El efecto de enfriamiento del agua en un borde recién cortado con plasma crea cierto endurecimiento. Esto puede representar un problema para bordes que serán maquinados, o puede causar problemas con los códigos y regulaciones para construcción estructural y de puentes.

2.7. Equipos en BINIMELIZ S.A.

La empresa cuenta con una cortadora plasma Hypertherm Powermax 105' y la mesa de corte CNC HNC-3000G como muestra la figura 2.9, este equipo tiene una capacidad de corte

de hasta 150mm cabe destacar que no se tiene una tocha para corte sumergido.



Figura 2.9: La mesa de corte CNC HNC-3000G.

Por otro lado se cuenta con dos compresores como los que se ven en la figura 2.10, estos equipos abastecen el sistema neumático de los centros y tornos CNC, así como el dremel en el área de estructuras.



Figura 2.10: Compresor.

Datos del compresor:

- Model: TSC - 10A
- Presión de presión: 145 PSI; 10 Bar; 1 Mpa
- Capacidad: 31.8 SCFM 0.9 M³/min
- Temperatura de trabajo: 23 - 113 °F ; -5 - 45 °C

- Caballos de fuerza del motor: 7.5 KW; 10 HP
- Fuente de alimentación: 380 V; 50 Hz
- Fase: 3 P
- Corriente: 16.2 Amp.
- Peso: 250 KGS
- Numero de serie: T180126011/18041519

La información obtenida para el sistema neumático en mesas de agua requiere 120 PSI, por lo que el compresor cumple con este requisito.

Capítulo 3

Metodología

Este trabajo se desarrolló en 2 etapas, en la primera se recabaron los antecedentes necesarios en relación a el diseño inicial de la mesa de corte y en la segunda etapa se estableció el diseño final y se avanzó en su construcción y evaluación.

En esta primera etapa se realizó un diseño inicial de la mesa de corte que mejor se adecuó a las necesidades de la empresa basada en las tecnologías existentes y ciertos criterios de diseño, se tuvieron en cuenta los materiales disponibles en el mercado, así como la factibilidad de su manufactura de forma interna por la empresa.

Por otro lado, en la segunda se concretó el diseño final y su construcción en el área de estructuras, aquí se realizaron los planos finales y las modificaciones necesarias para su manufactura, además de las evaluaciones de su correcto funcionamiento.

Las evaluaciones que se contemplan son:

1. Se revisará la soldadura durante el proceso.
2. Prueba sistema neumático y el correcto nivel de agua.
3. Prueba de corte.
4. Pruebas de emisión de humos metálicos.

3.1. Criterios de diseño

Para evaluar cuál mesa de trabajo es la mejor para sus necesidades, se consideran seis puntos clave [8].

CRITERIO	Mesa mejor evaluada
Nivel de ruido	Mesa de agua
Radiación Ionizante	Mesa de agua
Contención humos	Mesa seca
Limpieza	Mesa de agua

Además, considerando la simpleza de la mesa de agua, en comparación con una mesa seca, junto con la importancia de poder construir esta en el área de estructuras de la empresa se llega a la conclusión de que la mesa más adecuada es la **mesa de agua**.

Con esto se recopilan además las medidas que permitan usar el equipo en su máxima capacidad entregada por el fabricante, estas son las dimensiones máximas de programación de corte establecidas en seis metros de largo por dos metros y medio de ancho. Por otro lado la altura de la antorcha y el espacio entre los rieles en los que se mueve la cortadora plasma es setenta centímetros y dos metros y ochenta centímetros respectivamente.

3.2. Subsistemas

3.2.1. Estructura principal

La estructura principal debe contener el agua y tener las medidas necesarias para poner sobre ella las planchas a cortar, por lo que las medidas interiores deben ser, como mínimo, las de la máxima capacidad de corte del equipo y caber dentro de los rieles.

Para limitar la cantidad de agua involucrada en el proceso se debe considerar que esta piscina no sea desde el suelo hasta la altura de la antorcha, para esto se debe considerar apoyos para elevar la piscina.

3.2.2. Sistema de control de emisiones

El control de emisiones sera controlado por el agua, la cual debe quedar a una altura de dos a tres centímetros bajo la placa y/o tener la capacidad de subir sobre la plancha a cortar para el corte sumergido.

3.2.3. Barras de corte

La función de ellas es sostener la plancha a cortar de forma nivelada para que sea cortada por el equipo.

Las barras donde se apoya la placa pueden tener distintas formas y orientaciones, estas son piezas de ciclos limitados. La vida útil esta dada por el desgaste que sufran durante el corte por lo que se debe tener como prioridad la facilidad cambiarlas con regularidad.

Por otro lado durante el uso del equipo las piezas cortadas podrían caer entre las barras por lo que debe tener un espacio prudente entre ellas lo suficiente para que caiga de forma segura la mano de un operador para sacarlas después.

Capítulo 4

Diseño

La empresa cuenta con la mesa de corte mostrada en la figura 4.1, la cual tiene $1 m^2$ de área útil para cortar y no cuenta con ningún medio que mitigue las emisiones de humos metálicos, el nuevo diseño debe considerar el uso óptimo de corte de la maquina y permitir su uso sin presentar un peligro para los trabajadores.



Figura 4.1: Mesa de corte usada en la empresa.

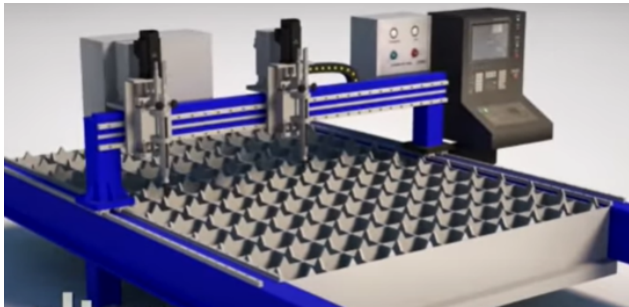
4.1. Diseño inicial

Los requerimientos a cumplir son la factibilidad de construir el diseño en el área de estructuras, que este equipo se pueda usar en el horario regular, es decir, que las emisiones se mantengan en rangos que permitan a los trabajadores estar en el lugar de trabajo y que permita el óptimo uso de la mesa de corte existente.

El diseño que mejor se adecua a los requerimientos es una mesa de agua, la empresa también quiere que el diseño pueda tener un modo de controlar el nivel de agua, según su experiencia (20 años en el rubro) esto permite una mejor mantención de la mesa y al circular el agua en la piscina se elimina la necesidad de encontrar un lugar adecuado para deshacerse del agua contaminada.

SECCIONES DE LA MESA DE CORTE

Como se ha mencionado anteriormente la función principal y más importante de la mesa es sostener la placa a cortar, la sección de la mesa encargada de esto son las barras de corte. A continuación en la figura 4.2 se plantean las diferentes configuraciones de la barras de corte



(a) Barras cruzadas.



(b) Barras horizontal.
zontal.



(c) Barras verticales.

Figura 4.2: Configuraciones de la barras de corte.

Como se ve hay tres configuraciones típicas, al tener en cuenta el área a cubrir las barras cruzadas se descarta por su dificultad para implementarse, además del trabajo previo para lograr un correcto ensamble.

Para disminuir el desgaste en las barras estas no deben estar en posición paralela al corte, pues el corte plasma derretiría la placa a cortar junto con la barra de corte en esa dirección.

Aunque las barras en perpendicular al corte son las que en teoría tendrían menor desgaste, también involucran una mayor cantidad de apoyos en puntos medios, por lo que se usa el modelo con las barras en horizontal con la modificación de que estas se ubicaran en diagonal.

La estructura principal debe contener agua, además de sostener y abarcar todos los sistemas. Se debe tener en cuenta la altura máxima según la máquina de corte, recordando que la antorcha debe cortar la placa ubicada sobre la mesa.

El nivel de agua de agua se puede controlar con un sistema neumático, por esto se debe contar con una estructura que permita el movimiento del aire en una zona y de agua en otra, al aumentar la presión del aire en la parte superior esta empuje el agua hacia abajo y esta suba por salidas laterales. La sección que hará esto sera llamada campana. El primer diseño propuesto para esto se puede ver en la figura 4.3

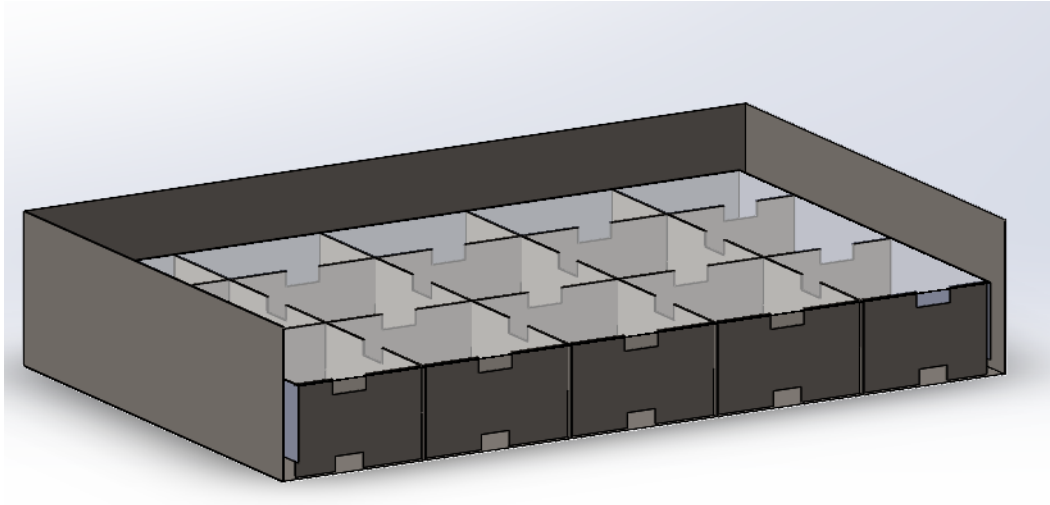


Figura 4.3: Diseño inicial campana.

Se propone un primer diseño de la mesa completa, mostrada en la figura 4.4, dividiendo las distintas secciones a considerar.

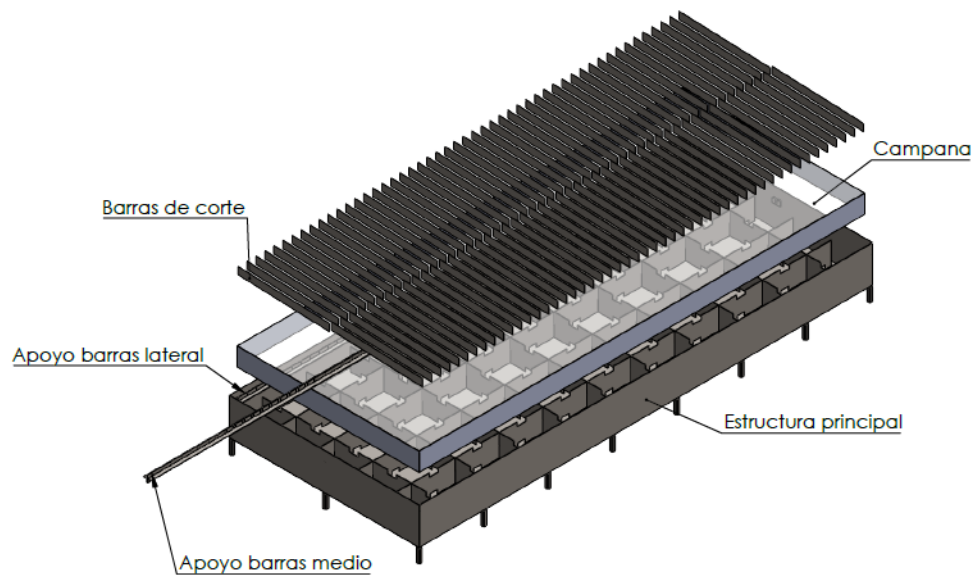


Figura 4.4: Diseño inicial mesa de agua

Este diseño se muestra la campana de forma transparente por fines ilustrativos. Las problemáticas que se deben considerar son el cómo se va a limpiar y cómo se va a nivelar la

placa a cortar en los seis metros de largo.

Revisión 1

Para mantener la altura de la estructura se pondrán vibrashock (figura 4.5) en los apoyos para nivelar la estructura. Estos se usan para mitigar las vibraciones de máquinas y nivelar estas en terrenos irregulares, debido a esto se debe considerar que en los apoyos debe haber una llave para apretar el sistema.



Figura 4.5: Vibrashock.

Revisión 2

Con el fin de añadir rigidez a la estructura se añaden ángulos en los bordes. Considerando su orientación según la función, en la parte superior se orientan hacia el exterior para no disminuir el área interior y ayudar cuando el operador deba mover las piezas, además del caso de que sea necesario deslizar la placa de trabajo por el borde de la estructura, la forma en que se ubican estos refuerzos se puede ver en la figura 4.6.

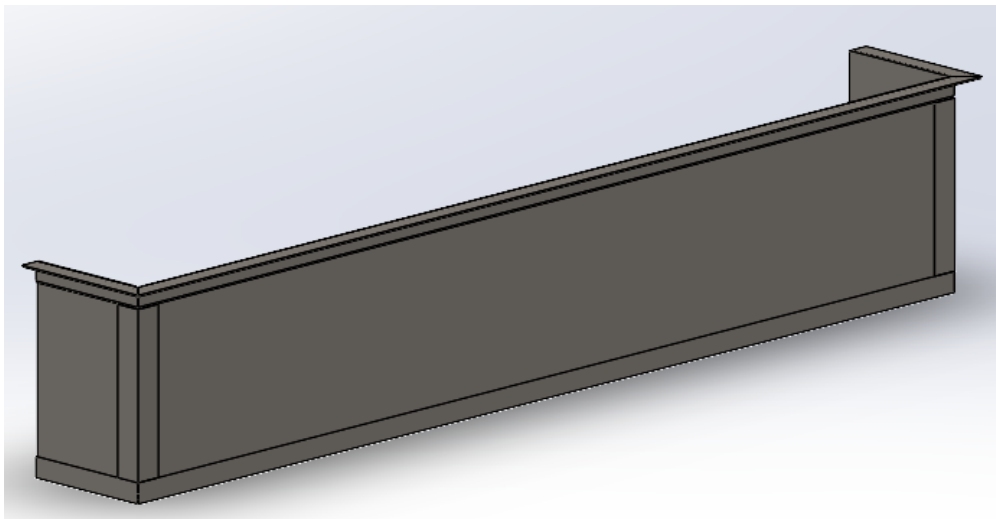


Figura 4.6: Vista parcial de los refuerzos en la estructura.

Revisión 3

El mantenimiento requiere que todas las partes sean desmontables entre sí, para esto se debe considerar la campana debe poder ser retirada con la mayor facilidad posible, sin perjudicar su función principal, ser un pulmón de aire que permita el control del nivel de agua. Para lograr ambos se consideran múltiples campanas y el formato de venta de las planchas en el mercado chileno.

Se proponen 4 campanas, que estarán sobre un enrejado que permita el flujo de aire en la zona superior y la movilidad de agua en la zona inferior, dejando las orillas libres para la subida del agua hasta superar la altura de las campanas.

Revisión 4

El enrejado interior de las campanas también debe ser desmontable y permitir el movimiento de estas, por lo que los segmentos más cortos son armados, pero no soldados a la estructura. Por otro lado, se debe considerar que este enrejado sea de menor medida en largo y ancho para permitir que las campanas encajen de manera más holgada.

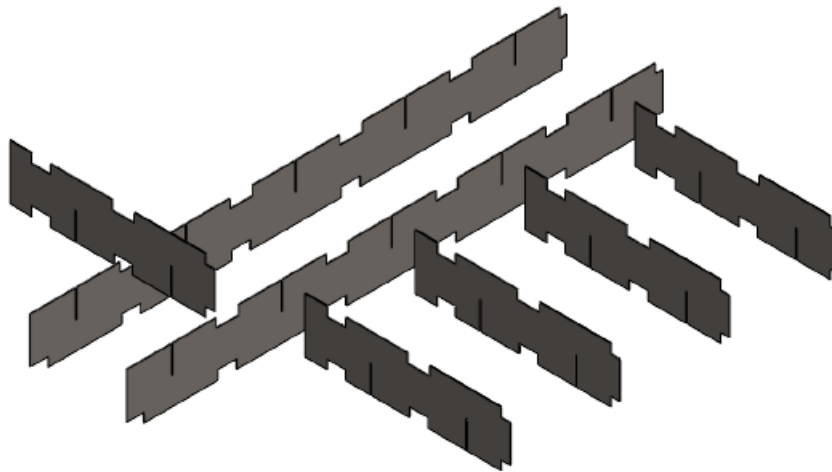


Figura 4.7: Enrejado interior desarmado.

Revisión 5

Dado que las barras de corte están definidas en posición horizontal, el soporte que se propone es en forma de cruz. Con esto se apoyarán en la base para que no caigan y una placa con ranuras evitara su movimiento hacia los lados. El modelo descrito se puede ver en la figura 4.8.

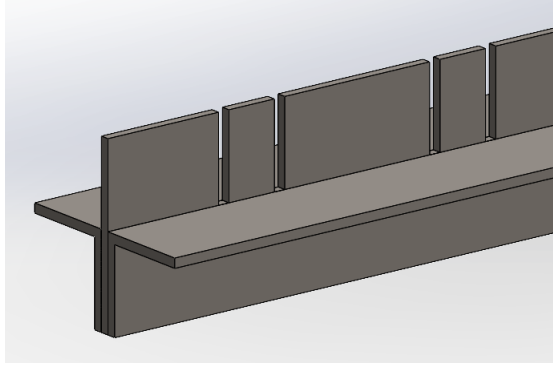


Figura 4.8: Apoyo central barras de corte.

Revisión 6

Las barras deben apoyarse en una barra en el medio, la concentración de peso provocara una deformación en el soporte central, para evitar el pandeo se añade un soporte en forma de cruz en el medio de la estructura.



Figura 4.9: Soporte central.

Revisión 7

Las barras de corte se apoyan en los laterales de la estructura, en un principio se propuso un ángulo con ranuras, sin embargo, este tiene un área de contacto con las barras igual al de su espesor, lo que no superaría los cinco milímetros, por lo que dejara una sujeción propensa a soltarse en el caso de que se hagan movimientos sobre las barras de corte, como son el arrastrar la placa a cortar en la parte superior para acomodarla en la posición adecuada. Para esto se propone un perfil rectangular como soporte lateral, el perfil permitiría una sujeción más largas y evitara que se deprendan de la estructura principal al mover la placa sobre las barras de corte, un ejemplo de cómo se verían el perfil y el ángulo se puede ver en la figura 4.10.

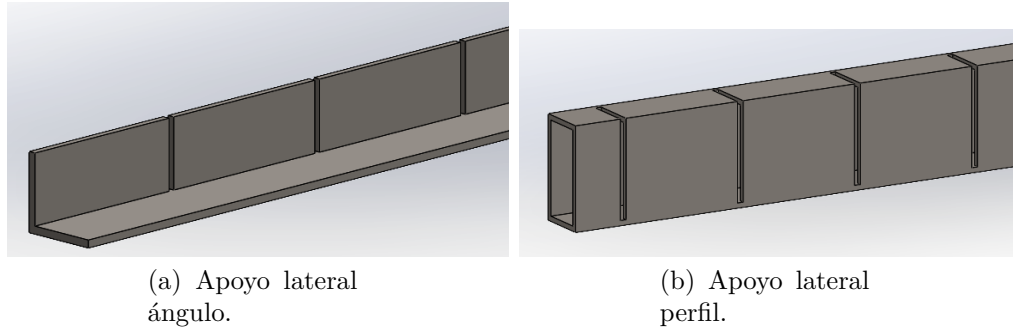


Figura 4.10: Apoyo lateral antes y después de la modificación.

Revisión 8

Las barras de corte deben considerar el cómo se desgastan y su función principal: sostener la placa a cortar de forma adecuada, para esto se considera su geometría y la dirección en que son sostenidas. En cuanto a su dirección se ponen en una ligera diagonal.

Se debe tener en consideración la forma de las barras, se proponen las mostradas en la figura 4.11.

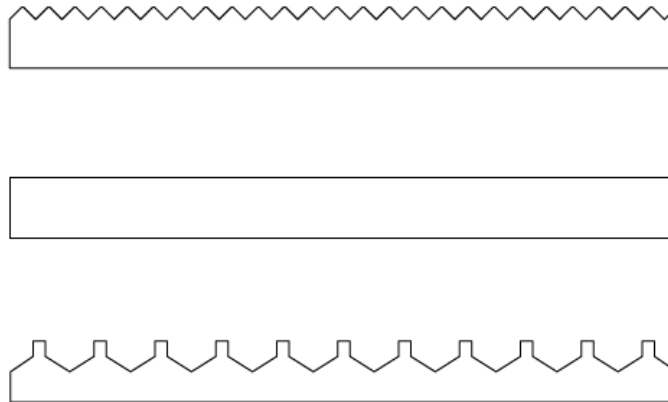


Figura 4.11: Barras de corte en diferentes geometrías.

La barra terminada en punta tiene a su favor que se limitaría el área de contacto de las barras que el plasma podría derretir al cortar la placa sobre ella, pero al arrastrar la placa de forma manual estas podrían desgastarse de forma irregular dificultando el atener el nivel de la plancha a cortar. Similar es la forma y desventajas de la última, no obstante la forma en que termina es para añadir una punta descartable, sin embargo la cantidad de puntas necesarias para una mesa de 6m x 2.5m harían insostenible el uso de estas puntas descartables.

La barra simple tiene la desventaja de tener una mayor área de contacto y por tanto es más propensa a desgastarse por el uso, sin embargo también se tiene la opción de voltearla para duplicar la vida útil de la barra de corte, por su fácil remplazo se prefiere esta forma.

Revisión 9

Posteriormente se considera una salida de agua en una de las esquinas de la base, se contempla el uso de una llave de 1/2" pulgada a la que se le conectara una manguera para vaciar el agua cuando se le haga mantención al equipo.

Revisión 10

El sistema neumático que se usara sera el mismo implementado en las máquinas de centro y torno CNC en Binimeliz S.A., el cual está distribuido por 2 compresores. Para limitar los problemas con las salidas y entrada del sistema se usará una manguera flexible hasta la unión rígida a la estructura.

4.2. Memoria de calculo

Para empezar, se establecen las medidas generales de la estructura, en función de las medidas dadas por el equipo de corte existente, estas son:

- Alto de la estructura, $H_t = 0,7$ m.
- Ancho de la piscina, $A_p = 2,6$ m.
- Largo de la piscina, $L_p = 6,2$ m.

Se establecen los materiales a usar como acero A36 en diferentes formatos, planchas, pletinas, ángulos y perfiles.

Las ecuaciones se obtuvieron del libro Shigley's Mechanical Engineering Design [13]

4.2.1. Barras de corte

A partir de estos datos se establece el largo de las barras de corte en 1350 mm. A continuación, se calculó el espesor mínimo de las barras de corte. Estas deben sostener la placa a cortar, por lo que se tomó el espesor de 50 mm (el doble del máximo corte de la maquina) como la plancha que debe sostener.

Se reduce el sistema a la barra fija en ambos extremos y se calcula la flexión máxima que se le aplica.

Usando la ecuación

$$\sigma = \frac{M * C}{I} \quad (4.1)$$

Donde M es el momento flector, C es la distancia entre el eje neutro y donde se encuentra el punto a calcular e I el momento de inercia.

El momento de inercia de un rectángulo se calcula usando la base (b) y la altura (h) del mismo. Por otro lado, el eje neutro de un rectángulo simple se encuentra en la mitad de la altura.

$$I = \frac{b * h^3}{12} \quad (4.2)$$

En primera instancia se considera altura de 100 mm, largo 1350 mm y el espesor de 2 mm.

$$I = \frac{2 * 100^3}{12} \approx 166667mm^4$$

El Momento flector se obtiene al igualar los momentos provocados por las fuerzas presentes en la viga, en este caso la figura 4.12 lo ilustra.

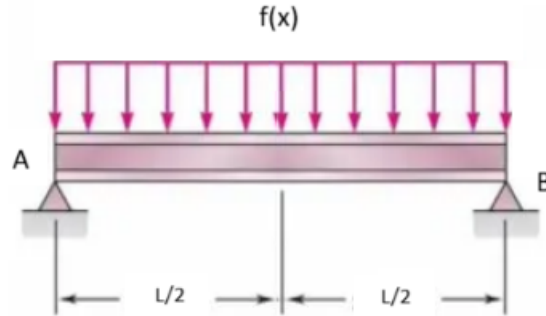


Figura 4.12: Barra de corte y fuerzas externas

La fuerza que se está aplicando corresponde a el peso de la plancha a cortar, que en este caso es de 100x50 por el largo de la barra, lo que equivale a $f(x) = 0,3925 * X$. Considerando que el largo es 1350 mm, la fuerza total es de aproximadamente 530 N.

La reacción en A y en B son iguales con un valor de 265 N. El momento flector sera máximo en la mitad del largo, es decir, x es 675 mm. La fuerza distribuida se simplifica como la fuerza puntual $F = f(675)$ a la mitad de la longitud considerada, como se puede ver en la figura 4.13.

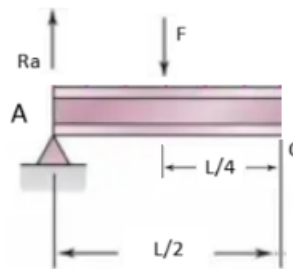


Figura 4.13: Barra de corte y fuerzas.

$$M_c - Ra * x + f(x) * \frac{x}{2} = 0$$

$$M_c = 265 * \frac{675mm}{2} - 265 * 675 = 89459MPa$$

$$\sigma = \frac{89459MPa * 50mm}{166667mm^4} = 26.83$$

El factor de seguridad esta dado por la razón entre el esfuerzo admisible y el esfuerzo máximo del material.

$$FS = \frac{\sigma_{max}}{\sigma} = \frac{400}{26.83} = 14.9$$

El factor de seguridad es mayor a 1 y por tanto el espesor 2 mm en adelante cumple con los requerimientos.

4.2.2. Apoyo central

El Apoyo central tiene un largo total de 6,2 metros y se considera el espacio entre cada barra de corte de 125 mm por lo que hay 50 barras por cada lado, dejando un total de 100 barras distribuidas a lo largo del apoyo central.

Usando el mismo proceso que para las barras de corte se determinara las medidas y la cantidad de soportes que necesita este elemento. En este caso se pueden dar distintos escenarios, los más probables se muestran en la figura 4.14.

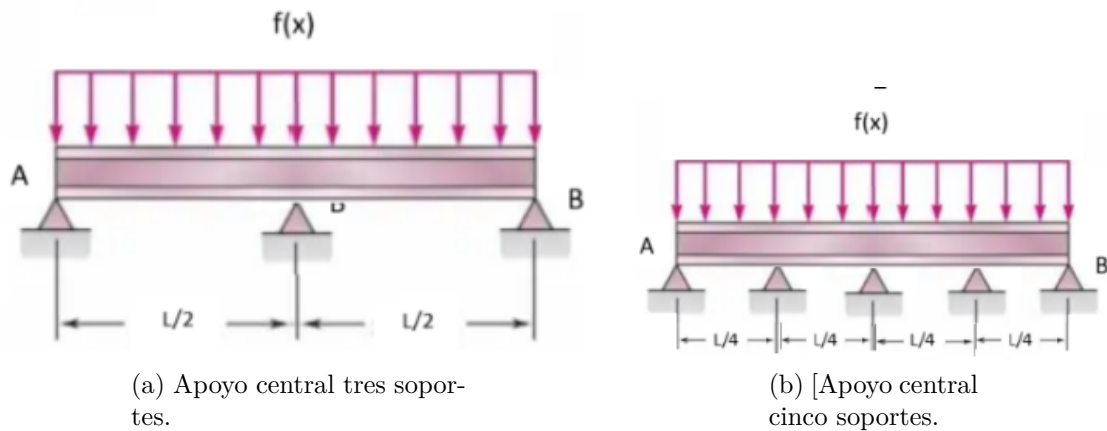


Figura 4.14: Configuraciones de la barras de corte, multiples apoyos.

Inicialmente se considera dos perfiles y una barra central, ambos de espesor cinco milímetros. Esto porque se seleccionó el espesor de las barras de corte en este mismo grosor. La forma del apoyo central, dividida en rectángulos, se puede ver en la figura 4.15.

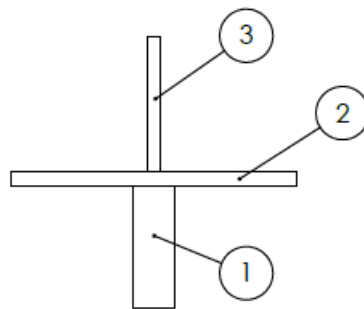


Figura 4.15: Forma del apoyo central

El eje neutro de un elemento se calcula usando:

$$\tilde{y} = \frac{\sum A_i * y_i}{\sum A_i} \quad (4.3)$$

El momento de inercia se calcula con la ecuación:

$$I = \sum I_i + A_i * d_i \quad (4.4)$$

Tabla 4.1: Datos apoyo central

	1	2	3
$b[mm]$	15	105	5
$a[mm]$	45	5	50
$A_i \text{ mm}^2$	675	525	250
$y_i[mm]$	22,5	47,5	75
$I_i[mm^4]$	113906,25	1093,75	52083,3333

$$\tilde{y} = \frac{675 * 22,5 + 525 * 47,5 + 250 * 75}{675 + 525 + 250} = 40,6mm$$

$$d_i = |\tilde{y} - y_i| \quad (4.5)$$

El momento de inercia:

$$I = 113906,25 + 675 * 18,1 + 1093,75 + 525 * 6,9 + 52083,33 + 250 * 34,4$$

$$I = 191523[mm^4]$$

Tabla 4.2: Cálculos diferentes apoyos.

N°Apoyos	5	3
$x[mm]$	775	1550
$L[mm]$	1550	3100
$C[mm]$	40,6	40,6
$I[mm^4]$	191523	191523
$Ra[N]$	5300	8833,3
$F[N]$	6625	13250
$M_c mm * N$	1540312,5	3422916,7
σ	326,5	725,6
FS	1,2	0,6

4.2.3. Campanas

Las alturas de la piscina y las campanas se calcularon según el volumen de agua que debía desplazarse. Para esto se fijaron las medidas generales de las campanas de forma que permita el desmontaje de forma cómoda.

- Ancho de la campana, $A_c = 1,2$ m.
- Largo de la campana, $L_c = 3$ m.
- Altura de volumen a llenar, $H_{ll} = 0,125$ m.

El volumen a llenar se da por las medidas generales de la piscina y la altura de las barras de corte, entonces el volumen es igual a:

$$V_{ll} = A_p * L_p * H_{ll}$$

$$V_{ll} = 2,6 * 6,2 * 0,125[m^3] = 2,015[m^3]$$

Entonces la altura mínima, H_{c*} de la campana está dada por la ecuación:

$$V_{ll} = 4 * V_c = 4 * H_{c*} * A_c * L_c$$

$$4 * H_{c*} * 1,2 * 3 = 2,015[m^3]$$

$$H_{c*} = \frac{2,015[m^3]}{14,4[m]} \approx 0,140[m]$$

La altura mínima de la piscina mínima de la piscina se obtiene de la suma H_{ll} y H_{c*} , además de sumar 25 mm en ambos extremos para evitar que las placas sobresalgan o choquen y 25 mm como espacio de aire dentro de las campanas.

$$H_{p*} = 0,140m + 0,125m + 3 * 0.025 = 0,365m$$

Se establecen las medidas generales de los componentes:

- Ancho de la campana, $A_c = 2,6$ m
- Largo de la campana, $L_c = 6,2$ m
- Altura de la campana, $H_c = 0,3$ m
- Altura de la piscina $H_c = 0,5$ m

A continuación, se determina el espesor de las planchas que componen las campanas

Considerando la densidad del acero como $7850 [kg/m^3]$ y la del agua $1000 [kg/m^3]$. Se establece el espesor en 3 mm para evitar que las campanas se eleven en vez de desplazar el agua.

El nivel de agua se estableció por encima de las campanas, de esta forma se asegura que el sistema funcione correctamente aun cuando las campanas no queden nivelas en la construcción de la estructura.

4.2.4. Estructura principal

La estructura principal debe sostener todos los componentes de la mesa de corte, además del agua del sistema neumático.

El espesor de las planchas sometidas a presión hidrostáticas se puede calcular usando la ecuación [14]:

$$\sigma = \frac{pl^2}{2h^2} \quad (4.6)$$

Donde p es presión, l el largo de la placa y h el espesor de la misma. La presión se puede determinar con la altura H del agua, además cuando esta última está en metros p toma el valor de:

$$p = 0,1026 * H [Kg/cm^2] \quad (4.7)$$

Si l está en metros y h en centímetros la ecuación se puede escribir como:

$$\sigma = \frac{513 * H * l^2}{h^2} [Kg/cm^2] \quad (4.8)$$

Entonces, al considerar los apoyos de la base a 770 mm y 1300 mm en cada dirección, se tiene que l es igual a 1,3 metros, al ser la distancia mayor, por otro lado el H máximo se iguala a la altura de la piscina, es decir, de 0,5 metros.

A continuación, para obtener el espesor mínimo se despeja de la ecuación anterior y se obtiene:

$$h^* = \sqrt{\frac{513 * H * l^2}{\sigma}} \quad (4.9)$$

Recordando que el limite de fluencia del acero A36 es de 2530 kg/cm² (250 MPa, 36 ksi)

$$h^* = \sqrt{\frac{513 * 0,5 * 1,3^2}{2530}} = 0,41 [cm] \quad (4.10)$$

4.3. Diseño final

Posterior a las revisiones hechas en la sección anterior se llega a el diseño final, el cual se puede ver en la figura 4.16.

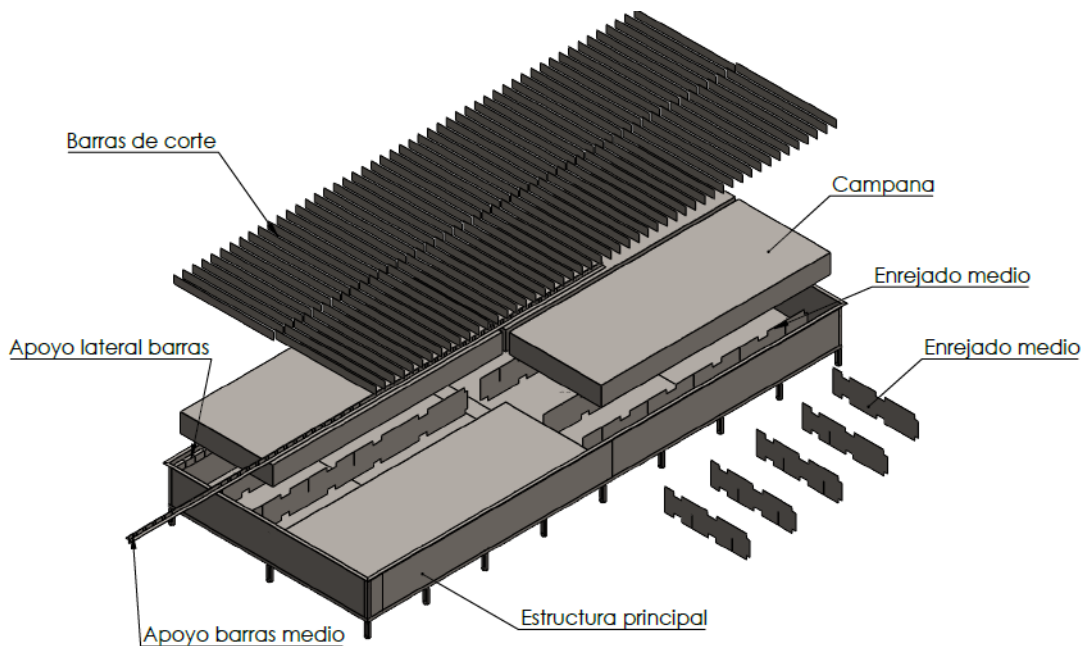


Figura 4.16: Diseño final mesa de agua.

4.3.1. Materiales

Se realizan cálculos y simulaciones estáticas del diseño presentado para establecer algunos valores mínimos, considerando la existencia de estos elementos en el mercado chileno.

Se considera planchas de acero laminado en caliente en las medidas estándar de mercado de 1,5m x 3m. Según los cálculos y simulaciones se llega a las medidas mínimas de las diferentes secciones.

Se debe tomar en cuenta el uso real del equipo, en el cual se desplazarán las planchas en las barras de corte sobre ellas y provocando su desplazamiento, el que se suban de forma regular operadores para acomodar o sacar las piezas cortadas y que los restos del corte caerán sobre las campanas, por lo que para desprender los restos se llegara incluso a usar un esmeril.

Para mejorar la robustez del diseño y por consideraciones prácticas en el uso de la mesa se seleccionan los materiales de la siguiente manera:

Para las campanas:

- Planchas de acero laminado en caliente espesor 3 mm.

Para la estructura principal:

- Planchas de acero laminado en caliente espesor 5 mm.
- Ángulo 50x50x5 en los refuerzos.
- Perfil 100x50x5 para el soporte lateral de las barras de corte.
- Plancha de acero laminado en caliente espesor 20 mm para el soporte medio de las barras de corte.

- Perfil 50x50x5 para los apoyos de la base.

Para el soporte medio de las barras de corte:

- Planchas de acero laminado en caliente espesor 5 mm.
- Ángulo 50x50x3 en los soportes laterales.

Barras de corte:

- Pletinas 100mm x 5mm.

Además, se considera un sellante butílico, anticorrosivo y esmalte sintético para la protección de la estructura.

Capítulo 5

Planificación

Una vez definido el diseño y los planos de fabricación, se inició la manufactura con el dimensionamiento de las planchas y piezas a cortar, recordando el formato de venta donde las medidas estándar de las planchas son un metro y medio por tres metros, mientras las pletinas, ángulos y perfiles se compraron en tiras de seis metros.

Posteriormente se definió el área de trabajo donde se llevo a cabo cada parte de la fabricación, considerando que las medidas de la mesa son de seis metros de largo por dos metros y medio de ancho, lo mejor para evitar los problemas de moverla es construirla en su ubicación final. Lo más desafiante de esta etapa es la construcción de la base de la mesa, lo que incluye los apoyos con sus respectivos sistemas de nivelación, los vibrashock, para esto se debe tener en cuenta que se posean los recursos para voltearla de forma segura.

Luego se fabricaron de forma simultánea las paredes de la mesa de corte y las partes móviles del sistema, se debe tener en cuenta de que la función de la mesa es sostener la placa a cortar de forma nivelada, por lo que se pueden obviar imperfecciones que no afecten la nivelación de las barras de corte, es decir, si la base tiene deformaciones en las zonas medias donde se ubicaran las campanas se pueden desestimar, sin embargo los laterales y el cómo se apoya en el centro de la estructura **deben** quedar a la altura que corresponden.

Una vez construida la piscina se prueba integridad de la estructura y el sellado de la soldadura, para esto se hace un llenado parcial con agua y se buscan las fugas, luego se vació la piscina probando el sistema de salida de agua que se usará en los casos de mantenimiento del equipo. En caso de encontrar una fuga importante se vuelve a soldar el o los puntos problemáticos. A continuación, se aplicará sellante butílico en los puntos de unión, se pintará con un anticorrosivo y posteriormente con esmalte sintético para metales para proteger la estructura del agua, esto incluye las partes móviles que son sumergidas, pero no las barras de corte.

Finalmente se hace el armado general, donde se ubicarán las partes móviles, luego se vuelve a ubicar los rieles en posición y se monta el equipo. Las barras de corte se deben ubicar en forma ligeramente diagonal y revisar su correcta posición con un nivel.

Capítulo 6

Fabricación

Durante la fabricación se dimensionaron las planchas a utilizar en el área de estructura, las piezas con geometrías diferentes se solicitaron a un proveedor externo. Se uso el equipo por última vez para cumplir esta tarea, posteriormente se desmonto la cortadora plasma y se movieron los pilares, de esta manera se ubica la piscina de la mesa de corte en la posición adecuada para su construcción, pues el desplazamiento del equipo sería más complicado después.

Lo primero que se hizo fue cortar y armar las patas de la mesa, estas debían tener una abertura por la que cayera una llave para apretar los niveladores, estas se pueden ver en la figura 6.1



Figura 6.1: Armado de piscina con las paredes laterales.

Luego se armó la base de la estructura con las patas y los ángulos de refuerzo, dado que lo mejor para el uso del espacio disponible es armar el fondo de la estructura y continuar construyendo hacia arriba, el resultado se puede ver en la figura 6.2.a .

Para lograr este primer paso se armó la base, se volteo con una maniobra conseguida con la grúa pórtico disponible en el taller. El volteo se muestra en la figura 6.2 en esta instancia se encontraron problemas en la deformación de las planchas en la base, la mayoría de estas se solucionaron por si solas por efecto de la gravedad.

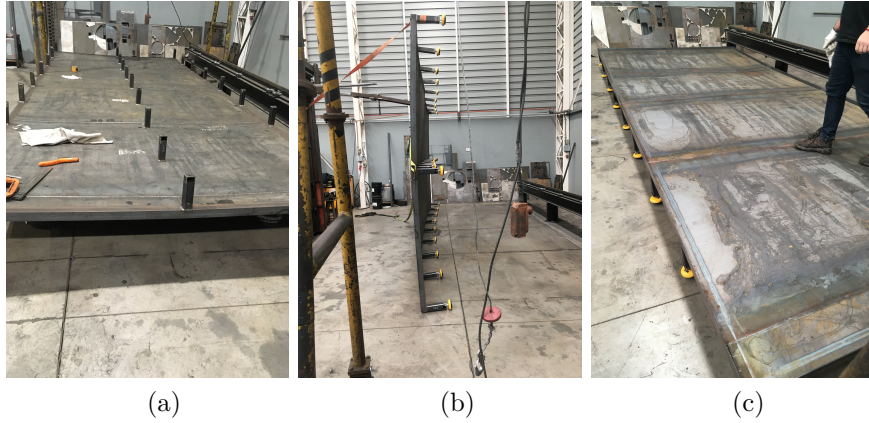


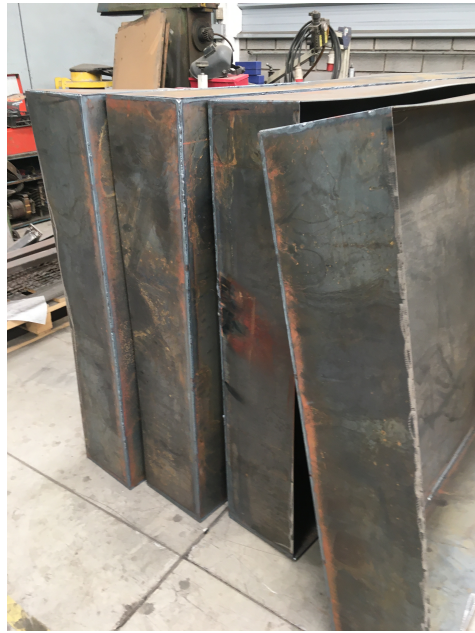
Figura 6.2: Volteo de la base de la estructura.

El armado de las paredes de la piscina niveló la estructura en sus orillas, sin embargo la deformación de las planchas en la base en la zona del medio se mantuvo como se ve en la figura 6.3, considerando que las imperfecciones en esa área no era un impedimento para la nivelación de las barras de corte se procedió con la siguiente tarea, las partes móviles.



Figura 6.3: Armado de piscina con las paredes laterales

El armado de los otros elementos como son campanas y apoyos se llevaron a cabo en simultaneo, estas se pueden ver terminas o en proceso en la figura 6.4.



(a) Campanas armadas.



(b) Soporte central.



(c) Apoyo central barras de corte.

Figura 6.4: Otros elementos de la mesa de corte.

Luego se armó el enrejado interior de la campana, estas fueron soldadas en su sección más larga a la base de la mesa y se usó la más corta para ubicar correctamente el conjunto como se puede ver en la figura 6.5.



Figura 6.5: Armado del enrejado interior.

Posteriormente, se montó el conjunto de la campana y el enrejado para probar su ensamble en conjunto como se puede ver en la figura 6.6.



Figura 6.6: Armado de piscina con campanas y enrejado interior.

Luego se instalaron los apoyos laterales y los soportes para el soporte central, para asegurar su correcta altura, se usó un nivel sobre las barras de corte. Se debió corregir la posición de un de los soportes, una vista parcial de este proceso se ve en la figura 6.7.



Figura 6.7: Apoyos y soportes barras de corte.

Una vez concluido el armado y soldado de las distintas partes se pintó con un anticorrosivo y posteriormente con esmalte sintético para metales para proteger la estructura de la corrosión que provocara el estar expuesto de forma permanente al agua y a metales.

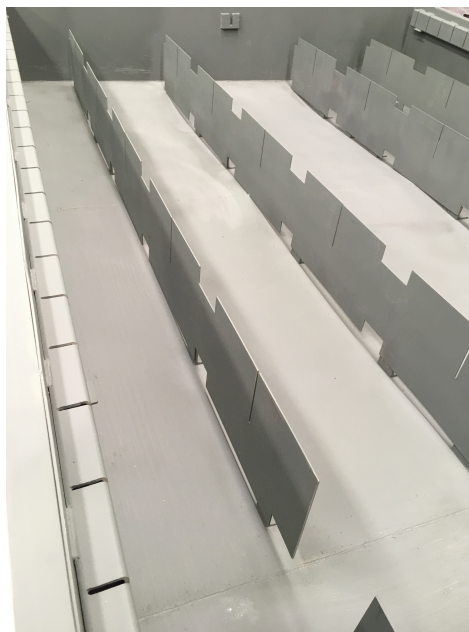


Figura 6.8: Mesa pintada con anticorrosivo.

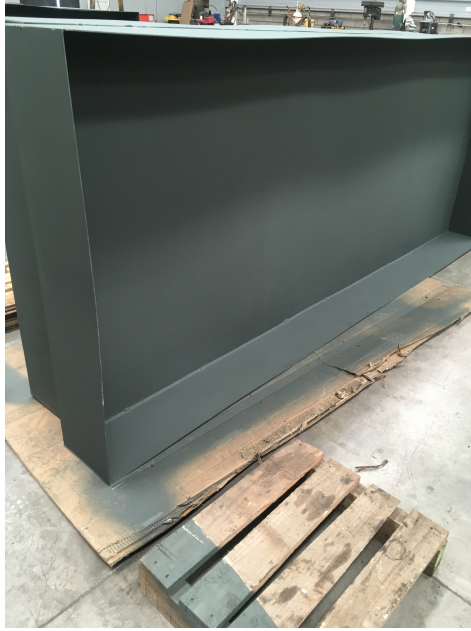


Figura 6.9: Campana pintada con anticorrosivo.



Figura 6.10: Mesa pintada con con esmalte sintético para metales.

En este momento se realizó un llenado parcial de la piscina y para revisar el sellado de la soldadura, se detectaron las fugas en los puntos de unión de diferentes partes de la estructura como se pueden ver en la figura 6.11.



Figura 6.11: Filtraciones encontradas en el llenado parcial.

La piscina se vació usando la salida de agua, para esto se retiró un tapón de media pulgada ubicado en una esquina. Dado que el agua estaba limpia se usó una bomba para acelerar el proceso y se desechó el agua al sistema en el alcantarillado del edificio.

Las imperfecciones se sellaron nuevamente con soldadura, como se ve en la figura 6.12.



Figura 6.12: Mesa de agua soldada en puntos de unión.

Cabe destacar que el llenado parcial se debió realizar antes y no después de la pintura. Para asegurar el sellado se aplicó en los puntos de unión un sellante butílico, se pintó nuevamente con un anticorrosivo y esmalte sintético para metales para proteger la estructura.

Finalmente se instaló el sistema neumático, el cual consta de mangueras flexibles con cuatro salidas (una por campana) y un sistema de doble válvula en el otro extremo, esto con el fin de facilitar la entrada y salida de aire.

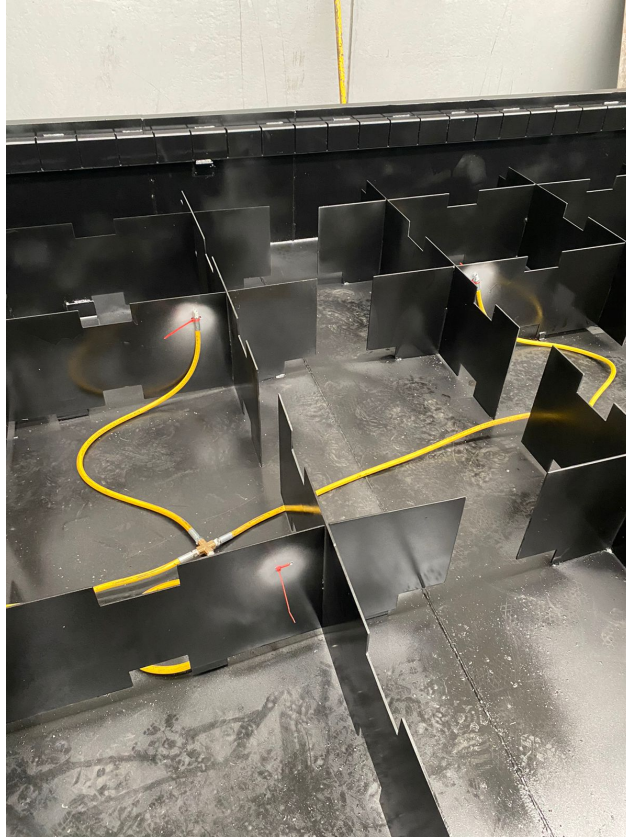


Figura 6.13: Cuatro salidas para las campanas.



Figura 6.14: Válvulas de entrada y salida para el sistema neumático.

La mesa finalmente se arma en su totalidad y se vuelve a montar el equipo a los rieles correspondientes como se ve en la figura 6.15. Se hace un corte de prueba para dejar la mesa de corte operativa para el área de estructuras.



Figura 6.15: Mesa de agua completa.

Capítulo 7

Evaluación

7.1. Medición de humos metálicos

La medición de humos metálicos se midieron con la ayuda de la mutual de seguridad, la cual presento resultados mostrados en la tabla 7.1, la cual ha sido modificada omitiendo información personal por la privacidad de los trabajadores.

Tabla 7.1: Medición de humos metálico

Operador	Tiempo de muestreo (min)	Cr	Cu	Mn	Fe	Ni	Exposición
Soldador 1	340	<0,0021	0,0014	0,0016	0,13	<0,00021	MUY BAJA
Soldador 2	340	<0,0022	0,0096	0,005	0,69	0,0012	MUY BAJA
Operador 1	340	<0,0022	<0,00087	0,0019	0,15	<0,00022	MUY BAJA

De esta tabla la mutual entrega la conclusión final sobre la exposición medida el día de la visita en las dos áreas evaluadas, soldador y operarios de equipos CNC.

- Las concentraciones de humos y polvos metálicos obtenidas en los grupos de exposición similar Soldador, se encuentran bajo el límite permisible establecido en el D.S. N° 594, clasificándose la exposición como Muy baja.
- Las concentraciones de humos y polvos metálicos obtenidas en los grupos de exposición similar Operario, se encuentran bajo el límite permisible establecido en el D.S. N° 594, clasificándose la exposición como Muy baja.

La información sobre los criterios de evaluación se detalla en anexo

7.2. Análisis

La mesa de corte paso las pruebas para su correcto sellado, esto se revisó previamente con un llenado parcial. Luego se procede con la prueba principal, el correcto funcionamiento en

el corte. Para esto se realizó el montaje de la mesa de corte y la configuración de la cortadora plasma Hypertherm Powermax 105’.

Para la evaluación del sistema completo, este se mantiene en funcionamiento durante unas horas, posteriormente se usa de forma esporádica por la baja demanda del servicio, recordando que el procedimiento regular con los proveedores era mantener un stock de la mayoría de las piezas de corte.

El compresor funciona correctamente y la válvula de entrada como de salida mantuvieron los niveles de agua de la mesa de corte.

La capa de agua logra absorber la mayor cantidad de las emisiones, a pesar de no contar con una medición en seco del proceso de corte plasma, se puede apreciar a simple vista la ausencia de la nube de humos metálicos habitual en el uso de la mesa que se usaba anteriormente.

En cuanto a las emisiones se aprecia que se encuentran en rangos seguros, sin embargo, se debe considerar que estas fueron medidas junto con otras tareas del área de estructura de “BINIMELIZ S.A.” como son el esmerilado y limpieza de piezas, además del armado de estructuras. Cabe destacar que las emisiones fueron medidas en un día con una cantidad inusualmente baja de trabajo en el área, por lo que no se recomienda el uso de esta información para referencia.

En tanto la mesa de agua si bien cumple correctamente las funciones de sostener las placas a cortar y mitigar las emisiones aún no se ha podido usar en el formato de 6mx2.5m o por jornadas extensas.

Capítulo 8

Conclusiones

Se logra diseñar, construir y evaluar una mesa de agua para la cortadora plasma CNC de tipo pórtico que maximiza la capacidad de corte del equipo existente. Con esto se logra mejorar el uso de recursos de la maestranza “BINIMELIZ S.A.’, pues ya contaba con la mesa de corte plasma. Con esto se puede cumplir con la necesidad productiva en lo referente a el corte de planchas.

El adquirir mejoras en los equipos mejora los tiempos de producción, pues los tiempos habituales de espera por las piezas cortadas por proveedores externos oscila entre 3 días hábiles hasta las semanas, dependiendo de la capacidad y urgencia de las piezas pedidas. El crecimiento, por tanto, del área de estructuras está directamente ligado a el servicio de corte con el que se cuenta.

En referencia a las debilidades del diseño esta la dificultad de trasladar la mesa en caso de mover el área de corte dentro del taller o el traslado en caso de mover el taller a otra localización.

En un comienzo el proyecto se adapta fácilmente a la actividad productiva, dado que no se usa el corte de forma regular y el servicio de corte a externos es aún un servicio nuevo.

A partir de la evaluación hecha al diseño se puede identificar el cumplimiento de funciones objetivo del sistema, como es el tener un área de corte correspondiente a los equipos y mantener las emisiones a niveles seguros.

8.1. Recomendaciones

Aunque el mantenimiento del equipo escapa de los alcances de este informe se debe considerar que las barras de corte se deben cambiar cuando se vean desgastadas, lo cual suele ser apreciado a simple vista o con el uso de un nivel. El modelo elegido cuenta con la ventaja de que puede voltearse y duplicar su vida útil.

Bibliografía

- [1] HYPERTHERM. *Tecnología plasma* [Online] Última revisión 26/03/2023
<https://www.hypertherm.com/es/solutions/technology/plasma-technology/>
- [2] Groover, M. P. (2007). *Fundamentos de manufactura moderna Materiales, procesos y sistemas* (3a. ed.). GUADALAJARA: MCGRAW-HILL INTERAMERICANA.
- [3] GÓMEZ MORALES, Tomás. (2011) *Mecanizado básico para electromecánica*. (3ª ed.) Ediciones Paraninfo
- [4] Galean Galean Alex Diego (2021). Rediseño y construcción de una maquina de corte por plasma CNC para laboratorio de ing. mecánica y electromecánica. Trabajo dirigido, Universidad mayor real y pontificia Francisco Xavier de Chuquisaca Facultad de ingeniería mecánica-eléctrica-electrónica, Sucre-Bolivia
- [5] Tecnologías en soldadura. [Online] Última revisión 26/03/2023
<https://tecnologiasensoldadura.com.mx/conocen-los-distintos-tipos-de-corte-por-plasma/>
- [6] ESAB-CONARCO. Medidas de prevencion en soldadura y corte. [Online] Última revisión 26/03/2023
https://higieneyseguridadlaboralcvs.files.wordpress.com/2012/08/riesgos_11.pdf
- [7] Miller. Manual de usuario. SECCIÓN 1 – PRECAUCIONES DE SEGURIDAD. [Online] Última revisión 26/03/2023
<https://www.millerwelds.com/-/media/miller-electric/files/pdf/safety/spanish/pom-es.pdf>
- [8] Steve Zlotnicki (2015), Corte plasma, The Fabricator *Fabricators and Manufacturers Association*. [Online] Ultima revisión 26/03/2023
<https://www.thefabricator.com/thefabricatorenespanol/article/plasmacutting/poniend-o-el-corte-pesado-sobre-la-mesa>
- [9] Sakthi Sai Thamizhchelvan (2017). Design of the suction table for plasma and oxy-fuel CNC cutting machine. Tesis, Universidad técnica en Liberec, Facultad de Ingeniería Mecánica, Liberec-República Checa
- [10] Laminas y aceros. [Online] Última revisión 13/12/2022
<https://blog.laminasyaceros.com/blog/qu%C3%A9-es-el-corte-por-plasma>
- [11] Dirección del trabajo. Salud y seguridad. [Online] Última revisión 26/03/2023
<https://www.dt.gob.cl/portal/1628/w3-article-60452.html#:~:text=La%20exposici%C3%B3n%20ocupacional%20a%20ruido,posici%C3%B3n%20del%20o%C3%ADdo%20del%20trabajador.a>

- [12] Control de la distorsión de corte pieza en la máquina de corte por plasma CNC. [Online]
Última revisión 26/03/2023
<http://www.huawei-cutting.es/control-de-la-distorsin-de-corte-pieza-en-la-mquina-de-corte-por-plasma-cnc-276.html>
- [13] Budynas, R., Nisbett, K. (2010). *Shigley's Mechanical Engineering Design (9th ed.)*. McGraw Hill Education.
- [14] Ricardo Martin Dominguez. *Calculo de estructuras de buques (construcción naval)*. Escuela técnica superior de ingenieros navales, 1969.

Anexo A

Memorias de calculo

A.1. Metodología

Todo cuerpo al interactuar con el entorno está sometido a fuerzas, las cuales además de generar movimiento pueden provocar deformación.

Las fuerzas y momentos externos son solicitaciones que afectan a un cuerpo. Por otro lado, las fuerzas y momentos internos (o reacciones) corresponden a fuerzas y momentos que se generan entre el contacto de componentes internos, y el contacto con los puntos de apoyo. Se producen por la presencia de las fuerzas externas.

También es importante aclarar el concepto de desplazamiento. Este corresponde al cambio de posición de un punto del cuerpo en el espacio. No se debe confundir con el concepto de deformación, que corresponde al cambio de la forma del cuerpo.

Las fuerzas externas, reacciones, desplazamientos y deformaciones se relacionan entre sí a partir de ecuaciones constitutivas. Estas describen el comportamiento macroscópico del material, por lo que la forma y cantidad de estas depende de cada material particular. A modo de generalización se pueden clasificar los materiales según el comportamiento de un esfuerzo y deformación en la dirección paralela o perpendiculares. En este caso, se trabaja con metales y aleaciones que tienen comportamiento isotrópico, es decir, la relación de esfuerzo deformación no depende de la dirección del esfuerzo, se comporta igual en todas las direcciones.

Suponiendo comportamiento elástico (Ley de Hooke), estos materiales se pueden modelar con las siguientes ecuaciones:

Esfuerzo – deformación para materiales isotrópicos:

$$\mathbf{T} = 2\mu\boldsymbol{\varepsilon} + \lambda \text{tr}(\boldsymbol{\varepsilon})\mathbf{I}$$

$$\boldsymbol{\varepsilon} = \frac{1}{2}[\nabla\mathbf{u} + (\nabla\mathbf{u})^T]$$

Figura A.1: Relación cinemática desplazamiento – deformación:

:

$$\nabla \cdot \mathbf{T} + \rho \mathbf{b} = \mathbf{0}$$

Figura A.2: Ecuación de equilibrio de Cauchy

Donde: \mathbf{T} corresponde al tensor de esfuerzos, ϵ el tensor de deformación, \mathbf{u} el tensor de desplazamientos, \mathbf{b} son fuerzas externas, μ , λ y ρ son constantes que definen las propiedades del material. \mathbf{I} es la matriz identidad y el operador, $\text{tr}(\mathbf{x})$ corresponde a la traza del tensor \mathbf{x} .

CRITERIOS DE FALLA

Las ecuaciones presentadas en la sección anterior son aplicables sólo a materiales isotrópicos, en régimen elástico, es decir, que, al quitar los esfuerzos externos aplicados, el material volverá a tomar su forma original. Cuando los esfuerzos superan un umbral, el cuerpo pasa a régimen plástico, quedando con deformaciones permanentes.

Se define que un material entra en estado de fluencia (pasa a deformarse plásticamente) cuando el esfuerzo de Von Mises llega a dicho valor (propiedad del material). El esfuerzo de Von Mises:

$$\sigma_{vm} = \sqrt{\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2}{2}}$$

Donde son los esfuerzos principales a los que está sometido el material. Para el caso de vigas, se simplifica en función de los esfuerzos internos en la ecuación de equilibrio de Cauchy:

$$\sigma_{vm} = \sqrt{\sigma_x^2 + 3(\tau_{xy}^2 + \tau_{xz}^2)}$$

Generalmente se aplica un factor de seguridad al diseño. Entonces el material no entrará en fluencia mientras cumpla:

$$\sigma_{vm} = \frac{\sigma_Y}{FS} \tag{A.1}$$

MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS

El método de elementos finito aprovecha el supuesto de la ley de Hooke de las ecuaciones constitutivas, por lo que se puede linealizar el sistema de ecuaciones descrito en la sección anterior con la fuerza (\mathbf{F}), desplazamientos (\mathbf{x}) :

$$\vec{\mathbf{F}} = \mathbf{K} \cdot \vec{\mathbf{x}}$$

A partir de métodos numéricos y discretizaciones de las ecuaciones constitutivas permiten resolver problemas con alto grado de complejidad aprovechando la potencia computacional. Aproxima problemas de un medio continuo, discretizándolo en un número finito de elementos (caras o volúmenes), que a su vez están compuestos por nodos (puntos) a los cuales se aplican las ecuaciones a resolver. El tensor \mathbf{K} depende del sistema de ecuaciones y la interacción entre celdas y nodos de la discretización del volumen continuo.

A.2. Simulaciones SolidWorks

En primera instancia se aclara que se simula usando las mismas simplificaciones que en los cálculos realizados anteriormente.

Entonces tenemos en primera instancia las **barras de corte**, las cuales se restringen en los extremos y son sometidas a una carga de 510 N más el efecto de la gravedad. A continuación la figura A.3 detalla las propiedades del elemento, el cual es la barra con espesor 2 milímetros.

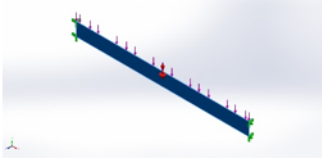
Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	<p>Nombre: ASTM A36 Acero</p> <p>Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal</p> <p>Criterio de error predeterminado: Desconocido</p> <p>Límite elástico: $2,5e+08 \text{ N/m}^2$</p> <p>Límite de tracción: $4e+08 \text{ N/m}^2$</p> <p>Módulo elástico: $2e+11 \text{ N/m}^2$</p> <p>Coefficiente de Poisson: 0,26</p> <p>Densidad: 7.850 kg/m^3</p> <p>Módulo cortante: $7,93e+10 \text{ N/m}^2$</p>	Sólido 1(Saliente-Extruir1)(burning bar lisa)
Datos de curva: N/A		

Figura A.3: Propiedades barra de corte

Los resultados se ilustran en las figuras A.4 y A.5.

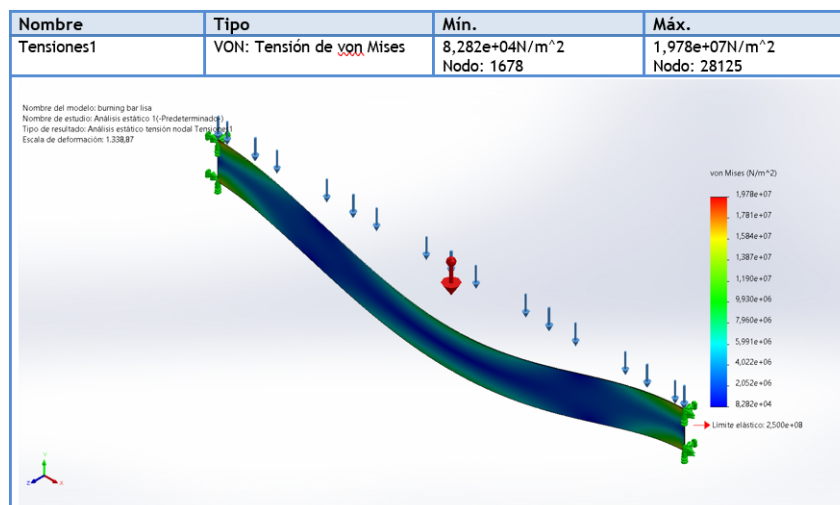


Figura A.4: Tensiones de Von Mises en barra de corte.

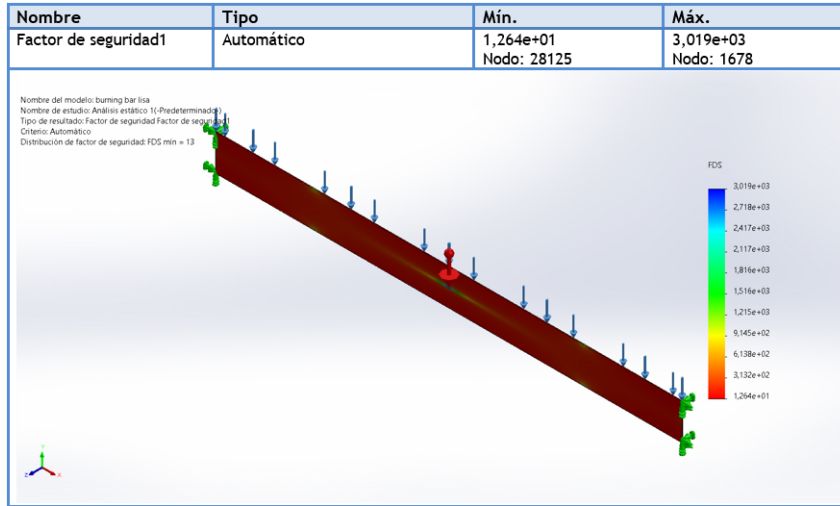


Figura A.5: Factor de seguridad en barra de corte.

Para el **apoyo central** se sitúan secciones de la barra para posicionar las fuerzas que las barras ejercen sobre este elemento. Para la simulación se restringen en los extremos y son sometidas a una carga de 265 N por cada barra más el efecto de la gravedad.

En primera instancia con un largo de 3100, es decir, 3 apoyos en el largo total. En este descansan 50 barras de corte.

A continuación la figura A.6 detalla las propiedades del elemento.

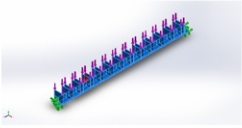
Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	<p>Nombre: ASTM A36 Acero Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal Criterio de error predeterminado: Desconocido Límite elástico: 2,5e+08 N/m² Límite de tracción: 4e+08 N/m² Módulo elástico: 2e+11 N/m² Coeficiente de Poisson: 0,26 Densidad: 7.850 kg/m³ Módulo cortante: 7,93e+10 N/m²</p>	<p>2 sólido (Angulo), 25 sólido (PIEZA barra corta), 1 sólido (apoyo centro)</p>

Figura A.6: Propiedades Apoyo centro

Los resultados se ilustran en las figuras A.7 y A.8.

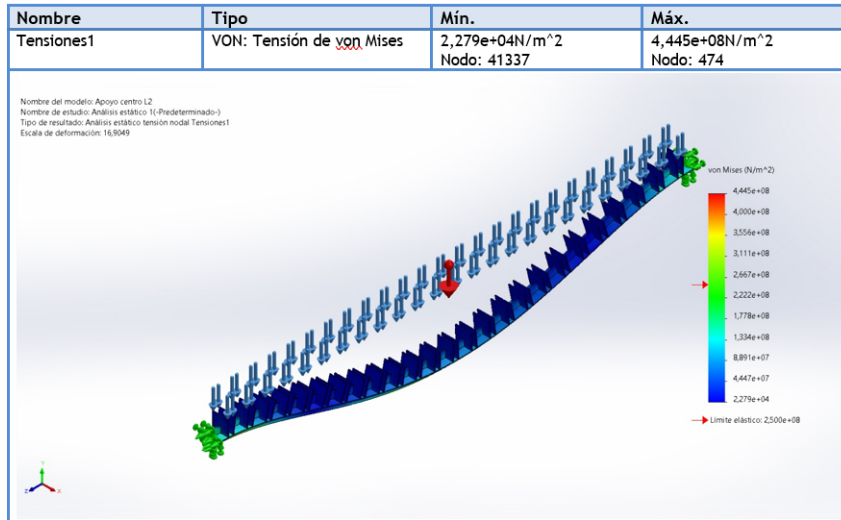


Figura A.7: Tensiones de Von Mises en apoyo central largo 3,1 m.

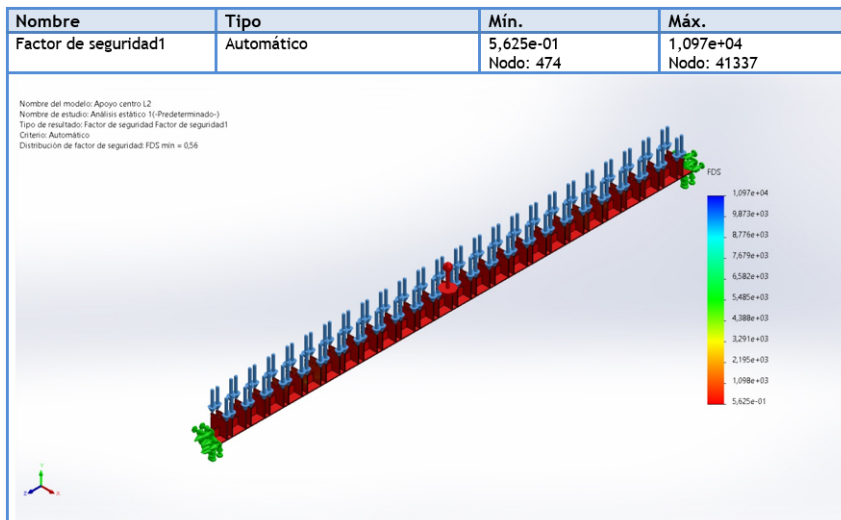


Figura A.8: Factor de seguridad en apoyo central largo 3,1 m..

En primera instancia con un largo de 1,55 m, es decir, 5 apoyos en el largo total. En este descansan 25 barras de corte. Las propiedades se mantienen.

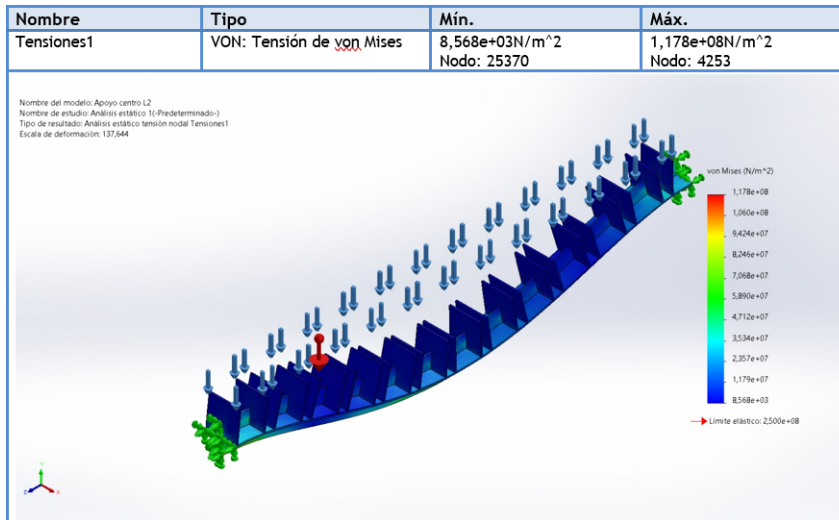


Figura A.9: Tensiones de Von Mises en apoyo central largo 1,55 m.

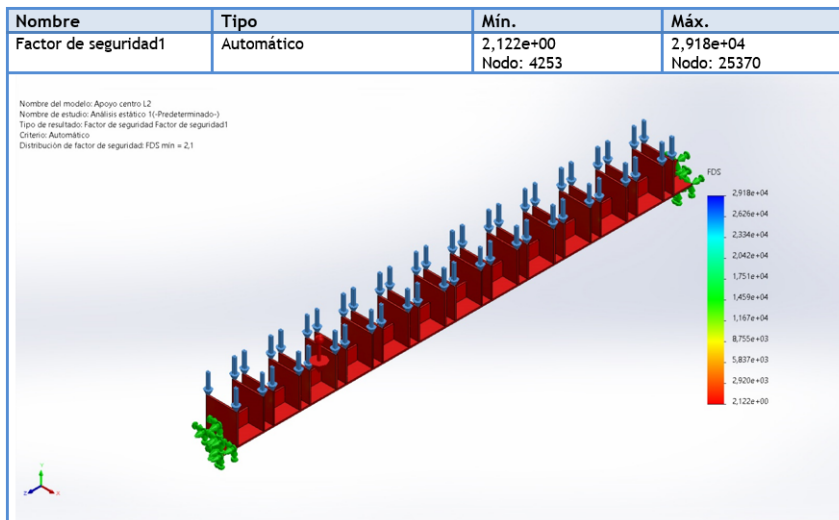


Figura A.10: Factor de seguridad en apoyo central largo 1,55 m..

Como se puede ver, el factor de seguridad del apoyo con largo entre soportes de 3,1 metros es de 0,56, mientras que el de largo 1,55 metros es de 2,1.

Los soportes que mantienen el apoyo central están compuestos por ángulos de 40x3 formando una cruz, para determinar si es correcto se simuló este elemento con una carga igual a un tercio de la máxima considerada en el soporte, es decir, un tercio de los 265 N aplicados por cada barra de corte. En el largo total se apoyan cien barras.

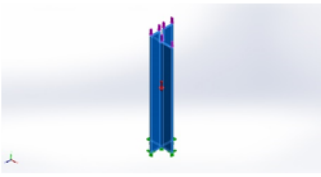
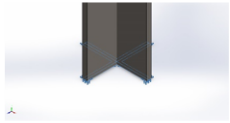
Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	Nombre: ASTM A36 Acero Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal Criterio de error predeterminado: Desconocido Límite elástico: 2,5e+08 N/m ² Límite de tracción: 4e+08 N/m ² Módulo elástico: 2e+11 N/m ² Coefficiente de Poisson: 0,26 Densidad: 7.850 kg/m ³ Módulo cortante: 7,93e+10 N/m ²	4 sólido (apoyo centro 1)

Figura A.11: Propiedades soporte.

Las cargas y sujeciones

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción		
Fijo-1		Entidades: 4 cara(s) Tipo: Geometría fija		
Fuerzas resultantes				
Componentes	X	Y	Z	Resultante
Fuerza de reacción(N)	2,09006	70.681,8	-2,56172	70.681,8
Momento de reacción (N.m)	0	0	0	0

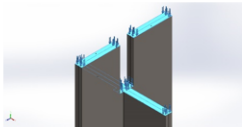
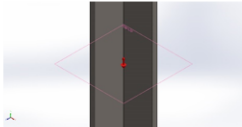
Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga
Fuerza-1		Entidades: 8 cara(s) Tipo: Aplicar fuerza normal Valor: 8.833,33 N
Gravedad-1		Referencia: Planta Valores: -9,81 Unidades: m/s ²

Figura A.12: Cargas y sujeciones soporte.

Los resultados se ilustran en las figuras A.13 y A.14.

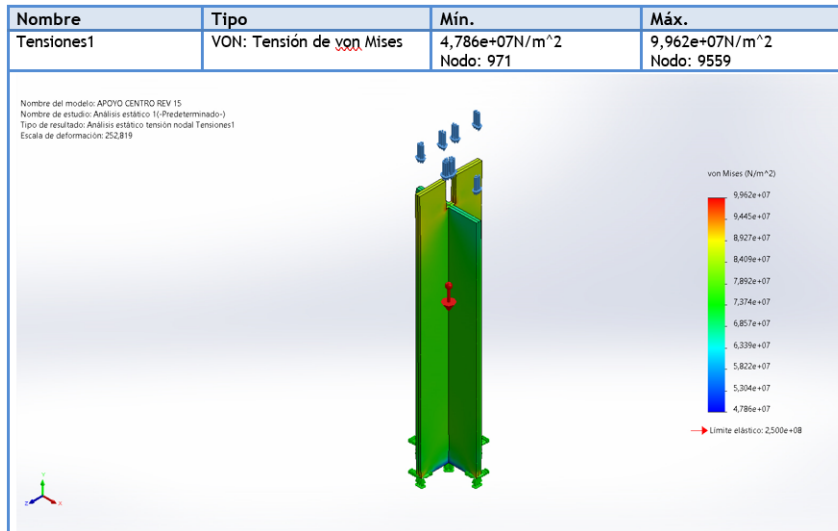


Figura A.13: Tensiones de Von Mises cruz

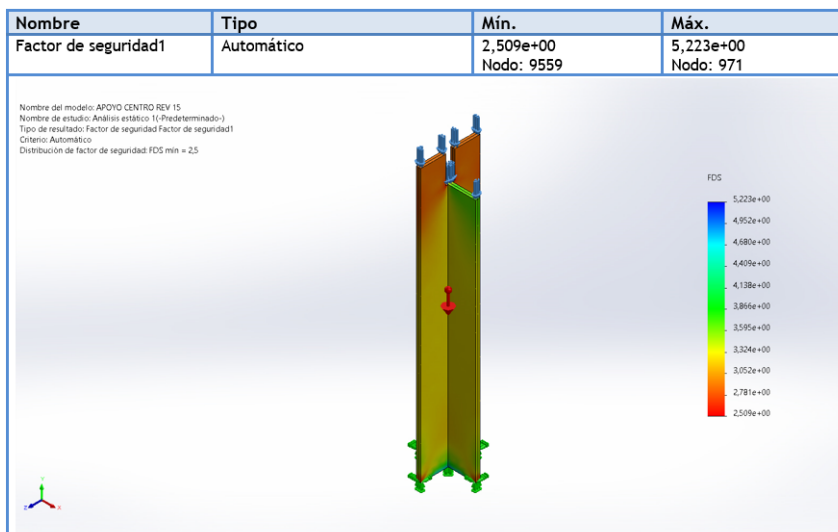


Figura A.14: Factor de seguridad cruz.

La sustentación de las barras se completa con el soporte lateral, el cual es principalmente un perfil de 100x50x5 con ranuras para encajar las barras de corte. Este está unido a la estructura principal y cuenta con ángulos de cuarenta en tres milímetros en sus extremos, además de como soportes en el medio para dar rigidez a la estructura, esto se puede ver en la figura A.15.

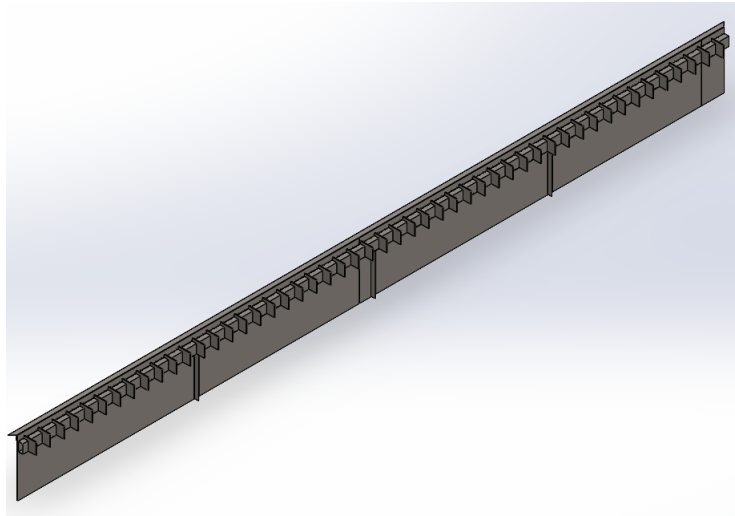


Figura A.15: Lateral de la estructura, perfiles y ángulos

Para su simulación se le aplicó la carga máxima de las 50 barras de corte que se apoyan en el lateral y se restringió el movimiento de la plancha de 4 milímetros a la que está unida. Las propiedades mecánicas corresponden a las del acero ASTM A36, al igual que en los otros elementos simulados. Las cargas y sujeciones se muestran en la figura A.16.

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción			
Fijo-1		Entidades: 5 cara(s) Tipo: Geometría fija			
Fuerzas resultantes					
Componentes	X	Y	Z	Resultante	
Fuerza de reacción(N)	10,2168	14.860	-3,05939	14.860	
Momento de reacción(N.m)	0	0	0	0	

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga			
Gravedad-1		Referencia: Planta Valores: -9,81 Unidades: m/s ²			
Fuerza-1		Entidades: 50 cara(s) Tipo: Aplicar fuerza normal Valor: 265 N			

Figura A.16: Cargas y sujeciones lateral de la estructura.

Los resultados se ilustran en las figuras A.17 y A.18.

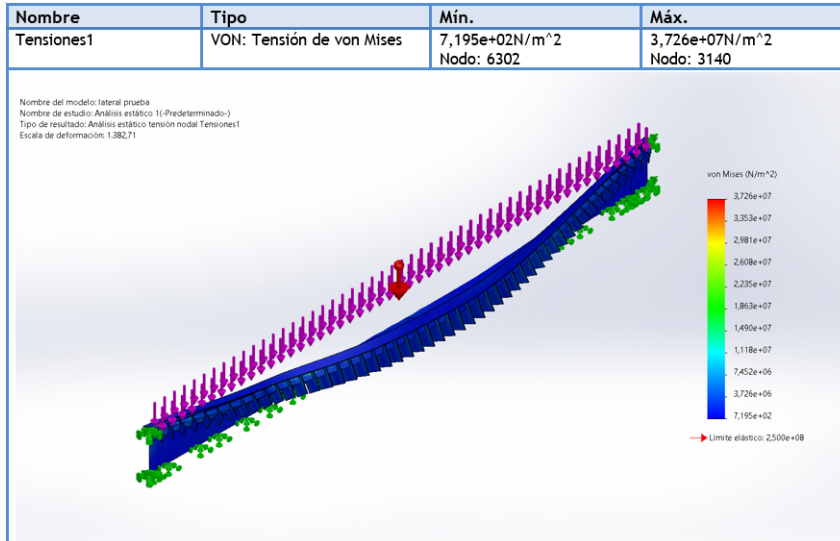


Figura A.17: Tensiones de Von Mises lateral de la estructura.

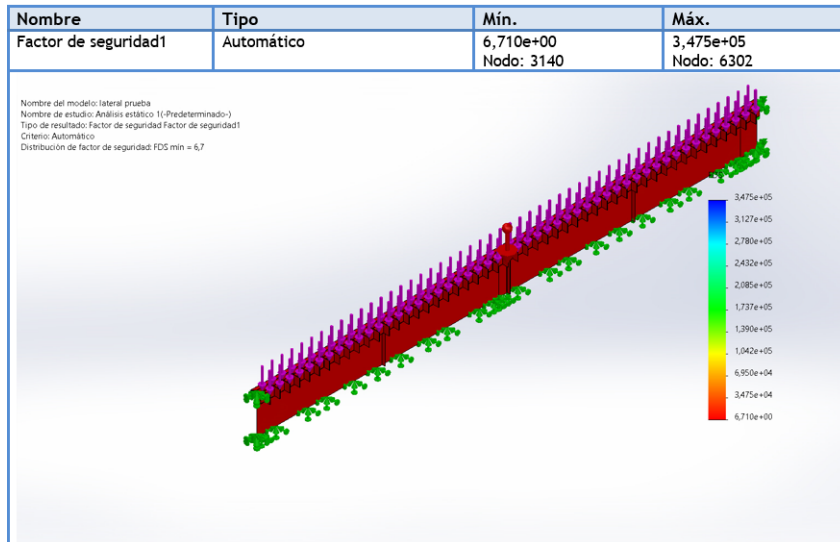


Figura A.18: Factor de seguridad cruz.

Anexo B

Informe humos metálicos



2. CRITERIO DE EVALUACIÓN

2.1 Decreto Supremo N°594, MINSAL.

Los criterios utilizados para cuantificar la exposición a los diversos elementos presentes en las muestras recolectadas durante la visita son los que se indican en el D.S. N°594, MINSAL y que en lo particular señala:

Artículo 60: El promedio ponderado de las concentraciones ambientales de contaminantes químicos no deberá superar los límites permisibles ponderados (LPP) establecidos en el artículo 66 del presente reglamento. Se podrán exceder momentáneamente estos límites, pero en ningún caso superar 5 veces su valor. Con todo respecto de aquellas sustancias para las cuales se establece además un límite permisible temporal (LPT), tales excesos no podrán superar estos límites. Los excesos de los límites permisibles ponderados, como la exposición a límites temporales, no podrán repetirse más de cuatro veces en la jornada diaria, ni más de una vez en una hora.

Artículo 66: Los límites permisibles ponderados y temporales para las concentraciones ambientales de las sustancias que se indican, serán los siguientes:

TABLA N°1 LÍMITES PERMISIBLES DE AGENTES QUÍMICOS (mg/m ³)				
Sustancia	LPP	LPP Corregido	LPT	Observaciones
Cromo	0.44	---	---	
Cobre	0.18	---	---	
Manganeso	0.88	---	---	
Hierro	5	---	---	(*)
Níquel	0.88	---	---	

*Según Conferencia Americana de Higienistas Industriales Gubernamentales (ACGIH)

Artículo 67: Las sustancias de los artículos 61 y 66 que llevan calificativo "Piel" son aquellas que pueden ser absorbidas a través de la piel humana. Con ellas deberán adoptarse todas las medidas necesarias para impedir el contacto con la piel de los trabajadores y se extremarán las medidas de protección y de higiene personal.

Artículo 68: Las sustancias calificadas como "A.1" son comprobadamente cancerígenas para el ser humano y aquellas calificadas como "A.2" son sospechosas de ser cancerígenas para éstos, por lo cual en ambos casos se deberán extremar las medidas de protección y de higiene personal frente a ellas.

Respecto de aquellas calificadas como "A.3", no se ha demostrado que sean cancerígenas para seres humanos, pero sí lo son para animales de laboratorio y las designadas como "A.4" se encuentran en estudio, pero no se dispone aún de información válida que permita clasificarlas como cancerígenas para el ser humano o para animales de laboratorio, por lo que la exposición de los trabajadores a ambos tipos de ellas deberá ser mantenida en el nivel lo más bajo posible.

2.2 Criterios de Clasificación de Expuestos

En complemento a lo anterior, la siguiente tabla indica los parámetros de clasificación de expuestos y requisitos de control de riesgo de enfermedades laborales.

TABLA N°2 CLASIFICACIÓN DEL GRADO DE LA EXPOSICIÓN A AGENTES QUÍMICOS		
Clasificación del Grado de la Exposición	Concentración medida ©	Requisitos de expuestos controlados
MUY ALTA	© > 5 LPP, o © > LPA o LPT	Implementar sistemas de control de ingeniería y/o evaluación de los sistemas de extracción y ventilación habilitados. Uso de protección de alta eficiencia (P3 o P100) en buen estado. En exposiciones que superan a 10 LPP usar respirador de rostro completo. En exposiciones que superan a 25 LPP usar equipo de aire autocontenido.
ALTA	1 LPP < © ≤ 5 LPP	Uso de protección en buen estado, filtro de alta eficiencia en caso de neumoconiógenos (P3 o P100).
MEDIA	0,5 LPP < © ≤ 1 LPP	En el caso de agentes químicos, el uso de protección se condiciona sólo para minimizar la exposición. En caso de existir agentes biológicos, cancerígenos o productores de asma bronquial, el uso de la protección es obligatorio.
BAJA	0,1 LPP < © ≤ 0,5 LPP	En el caso de agentes químicos, no se consideran expuestos. En caso de existir agentes biológicos, cancerígenos o productores de asma bronquial, el uso de la protección es obligatorio.
MUY BAJA	© ≤ 0,1 LPP	No requiere protección respiratoria, excepto si la sustancia es cancerígena.

2.1. Grupo de Exposición Similar (GES)

Grupo de trabajadores que realizan una misma actividad o tarea, en el o los mismos lugares o sitios de trabajo, utilizando las mismas materias primas, herramientas, equipos o maquinarias, para tiempos de exposición específicos al agente.

3. MEDICIONES

3.1. Condiciones de calibración y muestreo

a) Los instrumentos utilizados fueron:

- Bombas de flujo constante, marca Gilian, modelo Gilair. serie 201601102021, 20160301015 y 20160201020
- Calibrador de burbujas, marca Gilian, modelo Gilibrator. serie 41462223002.
- Cabezal de muestreo, casete de 37 (mm) de diámetro con filtros MCE de 0,8 (μm) de poro.

b) Estrategia de muestreo:

- Se aplica la estrategia de muestreo establecida en el Manual Básico sobre Mediciones y toma de muestras Ambientales y Biológicas en Salud Ocupacional del Instituto de Salud Pública (ISP), punto 9.9 letra a), criterio del Grupo de Exposición Similar.

c) Croquis del lugar evaluado.

