

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE SOPORTE ESTRUCTURAL PARA UN
MÓDULO DE ENTRENAMIENTO**

**JESSICA XIOMARA RICO ESGUERRA
DIEGO EMERSSON CARDONA PINEDA
JOHN EDISSON ROJAS LEONEL
DIEGO ANDRES SALINAS TORRES
ANDRES EDUARDO AMAYA SANCHEZ**

**ESCUELA COLOMBIANA DE CARRERAS INDUSTRIALES
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA ELECTRÓNICA
BOGOTÁ
2015**

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE SOPORTE ESTRUCTURAL PARA UN
MÓDULO DE ENTRENAMIENTO**

**JESSICA XIOMARA RICO ESGUERRA
DIEGO EMERSSON CARDONA PINEDA
JOHN EDISSON ROJAS LEONEL
DIEGO ANDRES SALINAS TORRES
ANDRES EDUARDO AMAYA SANCHEZ**

Proyecto de grado para optar el título de Ingenieros en Electrónica

**ASESOR
JHON FREDY BAYONA
Ingeniero Electrónico**

**ESCUELA COLOMBIANA DE CARRERAS INDUSTRIALES
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA ELECTRÓNICA
BOGOTÁ
2015**

Nota de aceptación:

Firma del jurado

Firma del jurado

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a Dios por habernos orientado con sabiduría y paciencia en nuestro proceso de formación. Dándonos fortaleza física y espiritual en cada uno de los momentos en los cuales lo necesitábamos pero especialmente por darnos la oportunidad de crecer como personas integrales.

Damos gracias también a nuestros padres por brindar su apoyo de forma incondicional, por inculcar en nosotros valores, por aconsejarnos y alentarnos a alcanzar nuestras metas.

A nuestros amigos y compañeros que pasaron con nosotros momentos gratos y de adversidad, a nuestros asesores Nestor Luis De La Cuesta Puebla, Jhon Fredy Bayona y Daniel Eduardo Rico que de manera idónea orientaron nuestra etapa en la pasantía.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	2
1. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN ESTRUCTURAL PARA UN MÓDULO DE ENTRENAMIENTO	3
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	3
2. JUSTIFICACIÓN	4
3. OBJETIVOS	5
3.1 GENERAL	5
3.2 ESPECÍFICOS	5
4. METODOLOGIA	6
4.1 CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO DE LA ESTRUCTURA.	6
4.2 DIMENSIONAMIENTO DE REQUISITOS DE SEGURIDAD.	9
4.3 FASES DEL DISEÑO	10
4.4 IDENTIFICACIÓN DE REQUERIMIENTOS ESTRUCTURALES	10
4.4.1 RESISTENCIA Y ESTABILIDAD	10
4.4.2 PINTURA	13
4.4.3 SOPORTES	13
4.4.4 UBICACIÓN DE SOPORTES EN LA ESTRUCTURA	17
4.5 CALCULOS REQUERIDOS PARA LA ESTRUCTURA	18
4.5.1 TANQUES	18
4.5.2 CAPACIDAD TANQUES	19
4.5.3 CARACTERÍSTICAS TANQUES	21
4.6 ENSAMBLE DE LA ESTRUCTURA	22
4.6.1 SOPORTES DE APOYO	22
4.6.2 BOCETO DE SISTEMA HIDRÁULICO	25
4.6.3 DISEÑO FINAL	27
4.7 CONSTRUCCIÓN MANUAL DE ENSAMBLE	29
5. ANALISIS DE RESULTADOS	30
5.1 REQUERIMIENTOS ESTRUCTURALES DE RESISTENCIA	30
5.1.1 ESTRUCTURA METÁLICA	30
5.1.2 SOPORTES	32
5.2 MANUAL DE ENSAMBLE	35
6. CONCLUSIONES	36
7. RECOMENDACIONES	37
8. TRABAJO A FUTURO	38
10. ANEXOS	42
9.1 MEMORIAS DE DISEÑO MECCI	42
9.2 MANUAL DE ENSAMBLE	42

LISTA DE TABLAS

<i>Tabla 1. Comparación de materiales.....</i>	<i>6</i>
<i>Tabla 2. Comparación de programas de diseño de estructuras</i>	<i>8</i>
<i>Tabla 3. Tolerancias Normales de la serie de Ángulos estructurales.....</i>	<i>12</i>
<i>Tabla 4. Características de pinturas.....</i>	<i>13</i>
<i>Tabla 5. Características de tanques</i>	<i>21</i>

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1. C.D.G de la estructura.....</i>	<i>11</i>
<i>Figura 2. Variables de Angulo.....</i>	<i>12</i>
<i>Figura 3.Soporte inferior del tanque N°1.....</i>	<i>14</i>
<i>Figura 4. Abrazadera media-tanque n°1.....</i>	<i>14</i>
<i>Figura 5.Abrazadera tanque N°2.....</i>	<i>15</i>
<i>Figura 6.Soportes Inferiores.....</i>	<i>16</i>
<i>Figura 7.Planta Estructural con Soportes.....</i>	<i>17</i>
<i>Figura 8.Circuito hidráulico tanques.....</i>	<i>18</i>
<i>Figura 9.Soporte Angular.....</i>	<i>22</i>
<i>Figura 10.Soporte Motobomba.....</i>	<i>23</i>
<i>Figura 11.Soporte Resistencia eléctrica.....</i>	<i>23</i>
<i>Figura 12. Soporte superior.....</i>	<i>24</i>
<i>Figura 13.Soporte Ultrasonido.....</i>	<i>24</i>
<i>Figura 14. Sistema Hidráulico.....</i>	<i>25</i>
<i>Figura 15.Sistema Hidráulico.....</i>	<i>26</i>
<i>Figura 16.Sistema Estructural.....</i>	<i>27</i>
<i>Figura 17.Sistema Hidráulico.....</i>	<i>28</i>
<i>Figura 18.Sistema Sensórico.....</i>	<i>28</i>
<i>Figura 19.Modulo estructural MECCI 3D.....</i>	<i>29</i>
<i>Figura 20. Estructura de hierro inicial – Simulación de resistencia de material.....</i>	<i>30</i>
<i>Figura 21. Estructura de hierro con modificaciones – Simulación de resistencia de material.....</i>	<i>31</i>
<i>Figura 22. Resistencia soporte galga tanque 1.....</i>	<i>32</i>
<i>Figura 23. Resistencia soporte motoagitador.....</i>	<i>33</i>
<i>Figura 24. Resistencia soporte tanque 3.....</i>	<i>33</i>
<i>Figura 25. Resistencia punto sujeción tanque 1.....</i>	<i>34</i>
<i>Figura 26. Tanque 1 con refuerzo.....</i>	<i>35</i>

GLOSARIO

CARGAS MUERTAS: Consiste en los pesos de los diversos miembros estructurales y en los pesos de los objetos que estén permanentemente unidos a la estructura [1].

ESTABILIDAD: Fenómeno que se presenta cuando los elementos que conforman una estructura están soportados de tal forma que satisfacen ecuaciones de equilibrio [1].

ESTADO DE DEFORMACIÓN: Lugares o puntos que no alcancen un límite preestablecido [1].

TENSIÓN DE VON MISES: teoría que expone que un material dúctil comienza a ceder en una ubicación cuando la tensión de von Mises es igual al límite de tensión. En la mayoría de los casos, el límite elástico se utiliza como el límite de tensión [2].

SOLIDWORK: es un software CAD (diseño asistido por computadora) para modelado mecánico en 3D, desarrollado por SolidWorks Corp una filial de Dassault Systèmes, S.A. [3].

RESISTENCIA ESTRUCTURAL: Es la capacidad de un cuerpo, elemento o estructura de soportar cargas de sin colapsar [4].

PANDEO ESTRUCTURAL: El pandeo es un comportamiento típico de los elementos estructurales esbeltos sometidos a esfuerzos de compresión, cuando la carga de compresión aumenta progresivamente llega a un valor en el cual el elemento esbelto, en lugar de acortar altura, curva el eje [4].

DAÑO DE FATIGA: Daño de fatiga en un elemento estructural a la iniciación y/o propagación de fisuras provocadas por la variación repetida de tensiones [5].

FLEXION: Pieza sometida a fuerzas transversales, que le causan una flexión [6].

COMPRESION: La única limitación impuesta es que bajo cualquier estado de cargas de servicio no aparezcan tensiones de tracción en ninguna sección de la estructura, es decir es el estado de tensión en el cual las partículas se aprietan entre sí [6].

ESFUERZO INTERNO: En ingeniería estructural, los esfuerzos internos son magnitudes físicas con unidades de fuerza sobre área utilizadas en el cálculo de piezas prismáticas como vigas o pilares y también en el cálculo de placas y láminas [5].

INTRODUCCIÓN

El continuo desarrollo tecnológico y su influencia en la sociedad e industria ha llevado a que los procesos de medición de variables como temperatura, presión, caudal y nivel implementen herramientas o dispositivos que permitan una mayor eficiencia, veracidad, y fácil manejo. También hace necesario que el personal que se encarga de la instalación y manejo de estos sensores tenga conocimiento adecuado que le permita comprender de manera apropiada la manipulación de estos.

No obstante así, se observa con preocupación que no todos los centros de educación superior en la facultad de ingeniería electrónica van a la par con este desarrollo tecnológico, dado que no cuenta con laboratorios que faciliten la práctica con sensores industriales de temperatura, presión, caudal y nivel, especialmente en un sistema organizado que requiera instalación, control y mantenimiento. Limitando de esta manera la comprensión del funcionamiento de ellos en campo real, la identificación de las diferencias entre procesos de simulación y procesos de medición en un montaje concreto, y sobre todo la posibilidad de fortalecer conocimientos teóricos en espacios aplicados.

En consecuencia un equipo de estudiantes de ingeniería electrónica de décimo semestre de la Escuela Colombiana de Carreras Industriales, junto con docentes de la institución ha tomado la iniciativa de construir un módulo de entrenamiento que tenga como funcionalidad recrear eficientemente un proceso industrial, para adquirir y analizar datos que se recaudan de sensores y que a su vez sea ajustable para estudiantes de pregrado y postgrado.

Se designó al equipo de diseño que construya una estructura que sea capaz de soportar todos los componentes hidráulicos, eléctricos y mecánicos del módulo de entrenamiento.

1. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN ESTRUCTURAL PARA UN MÓDULO DE ENTRENAMIENTO

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

A medida que la tecnología avanza se hace indispensable que la universidad ECCI vaya a su ritmo, especialmente en la implementación de nuevos dispositivos en sus laboratorios que permitan el desarrollo de prácticas más vivenciales de procesos industriales por parte de los estudiantes de ingeniería.

Por ende es necesario construir módulos de entrenamiento que permitan la adquisición, análisis y control de variables como temperatura, presión, caudal y nivel. En estos módulos se evidenciara una etapa de llenado donde inicialmente el sistema tiene en sus tanques un máximo de líquido (agua) de 50,3 litros, que se desplaza por el sistema hidráulico al ser bombeado por una motobomba de un caballo de fuerza al 10%, se emplea tubería en cpvc y electroválvulas que controlan el flujo de llenado y el tanque que se desea llenar, adicionalmente en la tubería se ubican sensores de paletas y tubo de venturi para medir el caudal. Luego viene la etapa adquisición y visualización de las variables presión y nivel, dado que en cada tanque se ubicaran sensores que indicaran la cantidad de líquido que se encuentra en ellos y en el tanque de mayor tamaño se instalara una resistencia que permita calentar el agua y sensores que faciliten la visualización del cambio de temperatura. Finalmente se tendrá la etapa de control a través de PLC donde al obtener datos de las variables se determinara que actuadores ejecutar (entendiendo como actuadores la motobomba, resistencia y electroválvulas).

Estos módulos estarán conformados por tres tanques (uno de ellos deben tener el doble de capacidad de los otros dos), sistema hidráulico (tubería, motobomba y electroválvulas) sensores de caudal, nivel, presión y temperatura, PLC y principalmente una estructura metálica móvil, que sea capaz de soportar los elementos mecánicos, hidráulicos, eléctricos y electrónicos de forma estable y segura dando mayor confiabilidad.

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cómo diseñar y construir una estructura metálica que de confianza y seguridad en el montaje de un módulo de entrenamiento con sensores industriales?

2. JUSTIFICACIÓN

Dado que la universidad tiene como proyección mejorar constantemente la calidad de su educación tanto a nivel de contenido como experimental, ha promovido en los estudiantes que se encuentra en la etapa final de su carrera de ingeniería, el interés por desarrollar nuevos laboratorios que permitan la experimentación de manera más práctica y objetiva.

Razón por la cual este proyecto tiene como finalidad el diseño y construcción de un módulo de entrenamiento donde se simulen problemas de nivel, caudal, temperatura y presión de líquidos.

Para lo cual es necesario contar con una estructura metálica móvil, que sea capaz de soportar elementos mecánicos, hidráulicos, eléctricos y electrónicos de forma estable y segura.

3. OBJETIVOS

3.1 GENERAL

- Diseñar y construir una estructura que cumpla con los requerimientos adecuados de estabilidad y resistencia sobre la cual se pueda implementar un banco de pruebas donde se simulen problemas de nivel, caudal, temperatura y presión de líquidos.

3.2 ESPECÍFICOS

- Realizar consulta del arte sobre diseños de estructuras metálicas.
- Identificar y establecer requerimientos estructurales de flexión y resistencia que permitan el montaje de los componentes del módulo de entrenamiento.
- Calcular puntos de flexión y resistencia de la estructura mediante simulación en el software solidwork.
- Implementar una estructura segura que satisfaga requisitos impuestos por factores como, función de la estructura, condiciones de lugar donde se ubicara, aspectos económicos, estética y normatividad.
- Realizar manual de ensamble de la parte estructural.

4. METODOLOGIA

Las etapas para el diseño de la estructura del módulo de entrenamiento son:

- Consideraciones para el diseño de la estructura
- Dimensionamiento de requisitos de seguridad
- Fases del diseño
- Identificación de requerimientos estructurales
- Ubicación de soportes en la estructura
- Cálculos requeridos para la estructura
- Ensamble de la estructura

4.1 CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO DE LA ESTRUCTURA.

Se determinan los materiales de la estructura y así mismo se describe sus características.

ACERO	<ul style="list-style-type: none">• Alta Resistencia mecánica al someterlos a esfuerzos de tracción y compresión.• Alta capacidad para trabajarlo, doblarlo y torcerlo.• permite cortar y perforar con facilidad a pesar de que es muy resistente, sin perder su eficacia.[8]
ALUMINIO	<ul style="list-style-type: none">• Metal ligero, blando pero resistente, de aspecto gris plateado.• Es muy maleable y dúctil y es apto para el mecanizado y la fundición.[9]
HIERRO	<ul style="list-style-type: none">• Es un metal maleable, es extremadamente duro y denso.• Es un elemento pesado.[10]
PVC	<ul style="list-style-type: none">• Fuerte-ligero la resistencia del pvc a la abrasión y buena resistencia.• Ligero en peso.• Excelente durabilidad [11]

Tabla 1. Comparación de materiales

A partir de las características mostradas en la Tabla 1, se selecciona el acero para la construcción de la estructura.

Se toman consideraciones de algunos autores, que sugieren que los efectos de las cargas pueden afectar a la estructura durante su vida útil. Estas consideraciones son:

- **Definir detalles de la estructura:** a través de la exploración de los mínimos requisitos de seguridad y los detalles de construcción de la estructura.[\[7\]](#)

La estructura que se implementará en este proyecto, es una estructura tipo 1 según las normas técnicas complementarias para diseño y construcción de estructuras metálicas, este tipo de estructura se caracteriza porque los miembros que la componen están unidos entre sí por medio de conexiones rígidas, capaces de reducir a un mínimo las rotaciones relativas entre los extremos de las barras que concurren en cada unión, de manera que el análisis puede basarse en la suposición de que los ángulos originales entre esos extremos se conservan sin cambio al deformarse la estructura.[\[12\]](#)

- **Modelar o idealizar la estructura :** mediante modelos teórico factibles, analizados con procedimientos de cálculos disponibles en un sistema digitalizado (simulación).[\[7\]](#)

Los dos mejores software para el diseño de estructuras, son Solidworks y Autocad. Se eligió el software Solidworks Composer 2014 para el diseño en 3D de la estructura, dado que, el software presenta mejores características, las cuales se pueden observar en la tabla 2.

	SOFTWARE AUTOCAD	SOFTWARE SOLIDWORK
Funcionalidad Principal	<ul style="list-style-type: none"> • Simulación y análisis • Animaciones y renderización • Estimación de costos • Documentación 	<ul style="list-style-type: none"> • Simulación y análisis • Animaciones y renderización • Estimación de costos • Documentación
Usos	<ul style="list-style-type: none"> • Arquitectónico • Diseño • Eléctrico • Mecánico 	<ul style="list-style-type: none"> • Diseño • Eléctrico • Mecánico • Simulación de procesos

Usuario	<ul style="list-style-type: none"> • Arquitectos • Ingenieros • Diseñadores Industriales • Estudiantes/Usuarios ocasionales 	<ul style="list-style-type: none"> • Ingenieros • Diseñadores Industriales • Estudiantes/usuarios ocasionales
Características	<ul style="list-style-type: none"> • Interfaz moderna y actualizada, mejoras de proceso de diseño • Conversión 2D a 3D CAD • Presentaciones diseños con más transparencia, más precisión y más intensidad • Impresión 3D • Las herramientas de visualización 3D • 	<ul style="list-style-type: none"> • Trabajo rápido, sencillo y de excelente calidad • Transición e integración de datos 2D a 3D • Presentaciones únicas y tecnológicamente innovadoras. • Las herramientas de visualización en 3D • Modelado de piezas y de ensamblajes

Tabla 2. Comparación de programas de diseño de estructuras

- **Determinar los efectos de las acciones de diseño:** en el modelo de la estructura. Se determinan las fuerzas internas a las que estará expuesta la estructura (flexión, pandeo por flexión, fatiga), así como las deformaciones[7]. El desarrollo computarizado de este diseño ayuda a tener una mayor comprensión de dichas fuerzas.

4.2 DIMENSIONAMIENTO DE REQUISITOS DE SEGURIDAD.

Se define los detalles de la estructura y se revisa si cumple los requisitos de seguridad, se elaboran los planos, especificaciones de construcción y estructura.[\[17\]](#)

Entre los peligros de mayor relevancia en la elaboración de estructuras metálicas industriales se encuentran: caídas de objetos por desplomes de piezas; proyección de partículas en los ojos o el cuerpo; cortes en las manos; radiaciones en operaciones de soldadura; y contactos con líneas eléctricas.

A pesar de las complicaciones que surgen durante la fabricación de estructuras metálicas, existen medidas preventivas que pueden disminuir los riesgos que se señalan a continuación.

- **Golpes por desplome de piezas:** para evitar el riesgo al desplome de elementos metálicos en la construcción de la estructura, se debe realizar esta acción en espacios amplios, tener en cuenta los pesos de cada pieza, sin exceder el peso permitido y con previa verificación que las piezas estén bien aseguradas. [\[17\]](#)
- **Proyección de partículas, quemaduras o cortes:** para ejecutar cualquier operación en la elaboración de estructuras es ineludible que los operarios dispongan y utilicen los siguientes equipos de protección personal: cascos de seguridad, botas de cuero con punta metálica, gafas contra impactos para picados de soldadura y guantes de cuero. [\[17\]](#)
- **Radiaciones en operaciones de soldadura:** con el fin de evitar el paso de personas y su contacto con radiaciones al soldar, es necesario que las zonas de trabajo estén debidamente señalizadas, o con acceso restringido. [\[17\]](#)
- **Contacto con líneas eléctricas:** En el montaje de estructuras se tienen que evitar cortocircuitos, sobrecargas, corrientes de fuga, sobretensiones transitorias y conexiones flojas. De esta manera, no se presentarán problemas con la electricidad. [\[17\]](#)

4.3 FASES DEL DISEÑO

Con base a las secciones 4.1 y 4.2 se sugiere que las fases para el desarrollo del diseño de la estructura sean:

Planteamiento de soluciones: Una definición específica del cargo que cumplirá la estructura y de las restricciones que impone el entorno físico; como condiciones ambientales. [7]

Evaluación De Soluciones: En esta fase se habla del “prediseño” se define las características primordiales de la estructura con el fin de identificar posibles problemas en su creación y a su vez poder valorar sus partes y estimar un costo. La elección del proveedor no se basara en una comparación de costos , hay que considerar la eficacia con la que se adapta los otros aspectos como , la facilidad de obtención de los materiales, la rapidez de la creación de estructuras metálicas, grado de dificultad en obtenerlos, los problemas relacionados con el mantenimiento, aspectos estéticos. [7]

Diseño Detallado: Ya una vez seleccionada la opción más conveniente lo siguiente es definir hasta su mínimo detalle en este proceso se tiene en cuenta las características que se habían supuesto inicialmente ya que pueden tener modificación por alguna causa en el dimensionamiento y se realiza nuevamente los debidos análisis. [7]

Transferencia De Los Resultados De Diseño: la elaboración de planos de forma clara y completa, incluirá no solo características fundamentales de la estructura, sino la solución de los mínimos detalles, la especificación de los materiales y procedimiento, la elaboración de una memoria de cálculos que facilitara la implementación de cualquier cambio que surja en condiciones no previstas. [7]

Supervisión: Destacar la importancia de un personal capacitado y responsable del proyecto se compruebe que se está interpretando correctamente el diseño , que puede resolver los cambio y adaptación que se presente en mayor o menor grado de manera que no altere la seguridad de la estructura ni del usuario.[7]

4.4 IDENTIFICACIÓN DE REQUERIMIENTOS ESTRUCTURALES

4.4.1 RESISTENCIA Y ESTABILIDAD

La estructura tiene como condición la resistencia a la deformación y estabilidad, pero no existe ningún material que cumpla este requisito en un 100%, por tanto la resistencia a la

deformación y la estabilidad de la estructura deben ser considerados en el diseño, ya que dependen del C.D.G¹, de la cohesión molecular y de la manera como se entrame internamente.

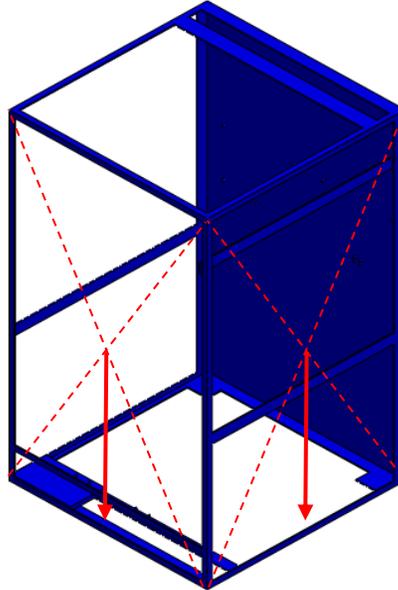


Figura 1. C.D.G de la estructura

Por lo anterior se escoge una estructura con forma rectangular, como se muestra en la Figura 1, porque garantiza un C.D.G como se especifica en [21]

Por otra parte se utilizó ASTM 36 calibre 5mm en forma angular, debido a su tolerancia y capacidad de pesos mostrados en la Tabla 3.

1 Centro de Gravedad

Tabla 1.4.1
Tolerancias Normales de la Serie de Angulos Estructurales L-AZA
Norma Chilena NCh697 Of. 74 y ASTM A6M/2001

H x B	Tolerancias en el espesor del acero de las alas						En el ancho del ala H ó B	Diferencia entre alas	
	mm								
mm	3	4	5	6	8	10	12	mm	mm
20 x 20	± 0,50							± 1,20	2,40
25 x 25				± 0,50					
30 x 30	± 0,60							± 1,80	3,60
40 x 40				± 0,75					
50 x 50								± 2,30	4,60
65 x 65			± 0,80	± 1,10					
80 x 80									
100 x 100				(*)					

Nota
 (*) Las tolerancias de espesor para los ángulos de alas ≥ 75 mm no están consideradas en la norma ASTM A6M, por lo tanto no deben ser motivo de rechazo o reprobación. En este caso se debe utilizar como concepto, las tolerancias de la masa lineal nominal, respecto a las masas mínimas y máximas aceptables. Estas tolerancias representan aproximadamente $\pm 2,5\%$ kgf/m

Tabla 3. Tolerancias Normales de la serie de Ángulos estructurales
http://www.gerdau.cl/files/catalogos_y_manuales/Manual_de_Disenio_para_Angulos_Estructurales_L-AZA.pdf

El ángulo que se tomó tiene un perfil de acero con alas de 25 mm que forman un ángulo de 90° entre sí, las caras interiores de ambas alas se unen en una arista redonda y las exteriores, lo hacen formando una arista un poco más aguda, como se indica en la [figura 5].

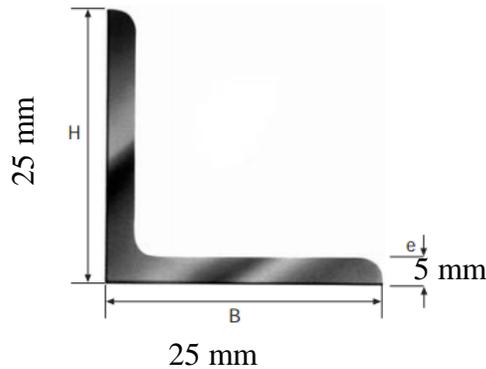


Figura 2. Variables de Angulo
http://www.gerdau.cl/files/catalogos_y_manuales/Manual_de_Disenio_para_Angulos_Estructurales_L-AZA.pdf

Como se observa en la Figura 2, H=25 mm y B=25 mm, entonces el correspondiente valor de la tolerancia en el espesor del acero de las alas que indica la Tabla 3 es 5mm.

4.4.2 PINTURA

Por el uso que se le dará a la estructura se hace necesario emplear una pintura que no fuese inflamable, que no atentara contra la salud del que la aplica, que tenga resistencia físico - química frente a impactos, rayones, dobleces, agentes químicos y oxidación.

Se selecciona pintura electrostática que es una pintura en polvo también llama EPOXI-POLIESTER, que aborda con satisfacción estos requerimientos, brindando grandes ventajas en su aplicación a diferencia de los demás como se indica en Tabla 4

	Epoxi	Epoxi/Poliéster	Poliéster
Dureza	Excelente	Muy buena	Muy buena
Flexibilidad	Excelente	Excelente	Excelente
Resistencia al sobre horneado	No recomendada	Muy buena	Excelente
Resistencia al exterior	No recomendada	No recomendada	Excelente
Resistencia a la corrosión	Excelente	Muy buena	Muy buena
Resistencia química	Muy regular	Excelente	Muy buena
Propiedades mecánicas	Regular	Buena	Muy buena

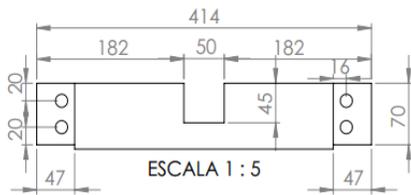
Tabla 4. Características de pinturas

4.4.3 SOPORTES

Se observó que por seguridad es indispensable que cada tanque tenga soportes fijos y alternativos en caso que suceda un desprendimiento inesperado.

A continuación se muestran en la Figura 3, Figura 4, Figura 5 y Figura 6 los diseños de los diferentes soportes.

Vista Frontal



Vista Superior

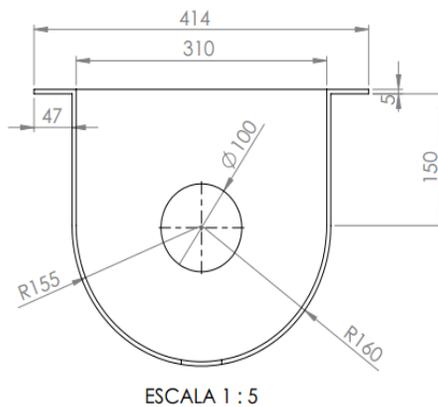
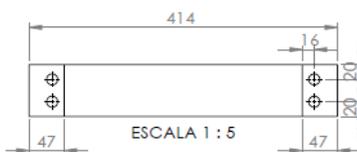


Figura 3. Soporte inferior del tanque N°1

Vista Frontal



Vista Superior

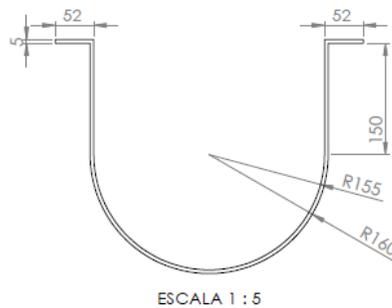


Figura 4. Abrazadera media-tanque n°1

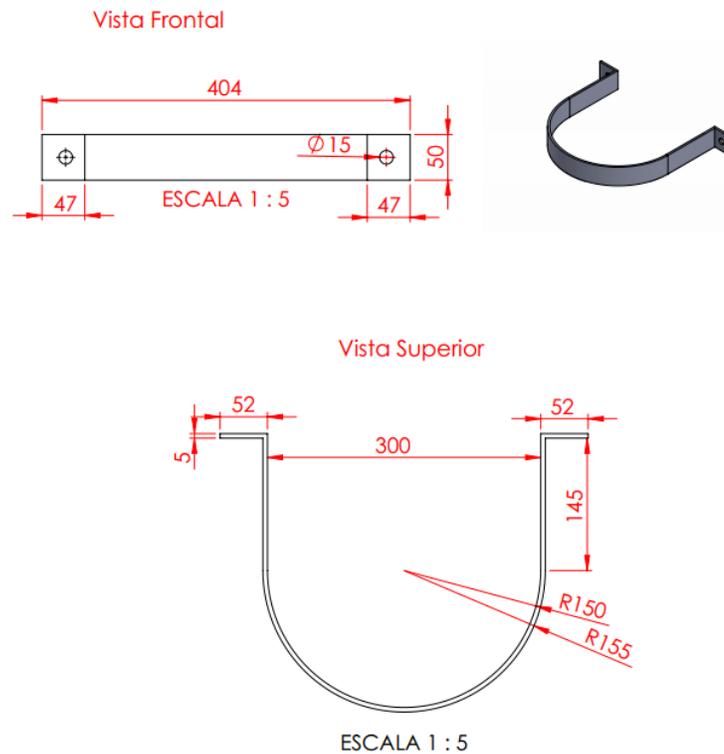
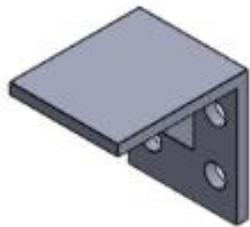


Figura 5. Abrazadera tanque N°2

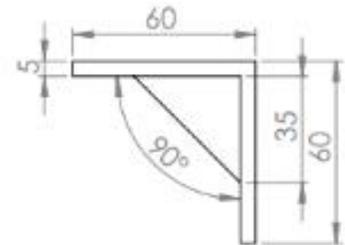
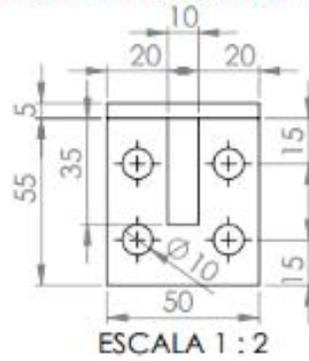
Los soportes que se observan en Figura 3, Figura 4 y Figura 5, asignados para los tanques N°2 y N°3 como soportes alternativos se fijan con tornillos de alta resistencia para conexiones entre elementos de acero estructural [$F_u = 830 \text{ MPa}$ ($8\,440 \text{ kg/cm}^2$) para diámetros de 13 a 25 mm (1/2 a 1 pulg.).[\[20\]](#)

Para los tanques N°2 y N°3 se diseñaron soportes como se muestran en la Figura 10, que están ubicados en la parte inferior, para mantener la ubicación exacta de los tanques y garantizar su estabilidad.

SOPORTE INFERIOR TANQUE 2

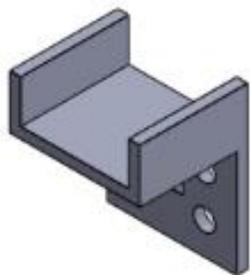


ESCALA 1 : 2

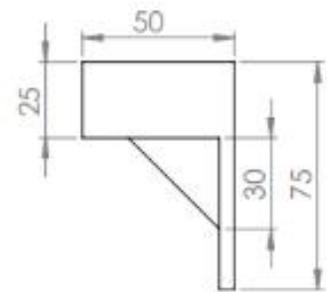
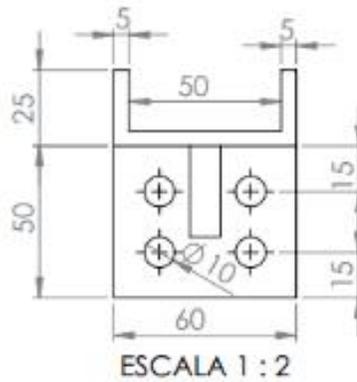


ESCALA 1 : 2

SOPORTE INFERIOR TANQUE 3



ESCALA 1 : 2

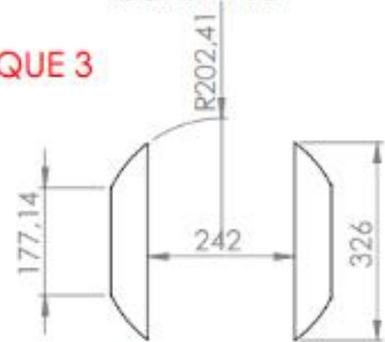


ESCALA 1 : 2

SOPORTE CAUCHO TANQUE 3



ESCALA 1 : 10



ESCALA 1 : 10

Figura 6. Soportes Inferiores

4.4.4 UBICACIÓN DE SOPORTES EN LA ESTRUCTURA

En la Figura 7 se encuentra la ubicación exacta de cada uno de los soportes para la sujeción de cada uno de los tanques y la caja eléctrica.

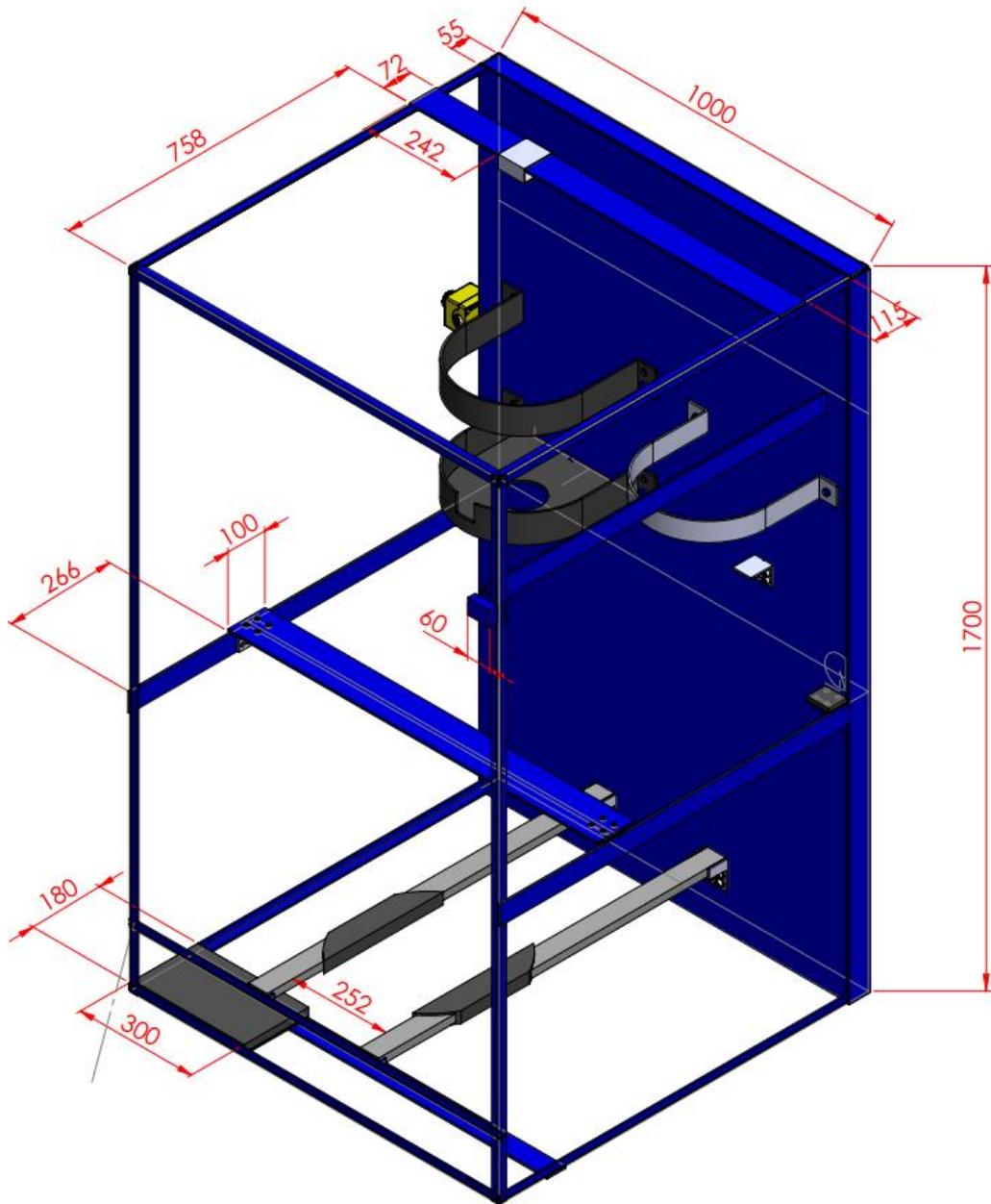


Figura 7.Planta Estructural con Soportes

4.5 CALCULOS REQUERIDOS PARA LA ESTRUCTURA

4.5.1 TANQUES

En esta planta existe tres tanques; el tanque N°1 está localizado en la parte superior izquierda de la planta, dicho tanque está colgado de una celda de carga tipo S para mediciones, el segundo tanque esta sostenido y anclado a la estructura metálica a través de soportes que abrazan al tanque, el tercer tanque está localizado en la parte inferior central de la estructura con soportes.

La entrada de los tanques está ubicada en la parte superior, ya que se realiza por bombeo. La tubería de alimentación está dotada de un dispositivo de cierre (electro válvula) con el fin de controlar el flujo de agua, La salida de agua del tanque es independiente de la entrada, las paredes y el fondo deben ser impermeables a la corrosión es por eso que los tanques se realizaron con acero inoxidable para evitar dicha corrosión se cubre con una capa de líquido antioxidante [19]. Así como se indica en la Figura 8

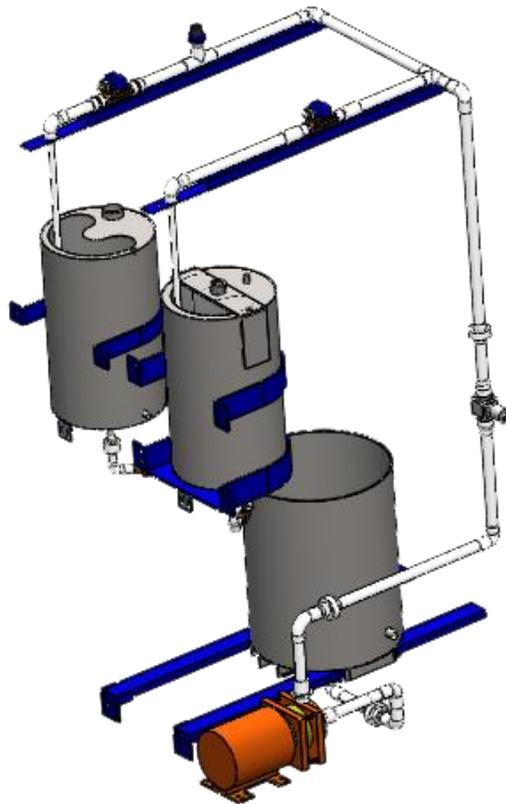


Figura 8.Circuito hidráulico tanques

4.5.2 CAPACIDAD TANQUES

Para la realización de los cálculos se tuvo en cuenta los datos de Tabla 5

Primero se calculó el volumen de los tanques, con la ecuación:

$$V = \pi * r^2 * h \quad (4-1)$$

Dónde:

r =radio del cilindro

h = altura

Aunque los tanques tienen una altura total de 50 cm, los cálculos se realizaron con una altura menor para evitar desbordamientos.

$$h_{TANQUE1} \text{ y } h_{TANQUE2} = 42 \text{ cm}$$

$$h_{TANQUE3} = 40 \text{ cm}$$

Se indica que el resultado se dio en cm^3 y que se deseaba expresar en litros para lo cual fue necesario aplicar la relación (4-2) para la conversión.

$$1\text{cm}^3 = 0,001 \text{ litro} \quad (4-2)$$

Aplicando la ecuación (4-1) y posteriormente realizando la conversión con la relación (4-2) se obtuvo para el tanque N°1

$$\begin{aligned} V_{TANQUE1} &= \pi * (15\text{cm})^2 * 42\text{cm} \\ V_{TANQUE1} &= 29688 \text{ cm}^3 = 29,7 \text{ litros} \end{aligned} \quad (4-3)$$

Aplicando la ecuación (4-1) y posteriormente realizando la conversión con la relación (4-2) se obtuvo para el tanque N°2

$$\begin{aligned} V_{TANQUE2} &= \pi * (15\text{cm})^2 * 42\text{cm} \\ V_{TANQUE2} &= 29688 \text{ cm}^3 = 29,7 \text{ litros} \end{aligned} \quad (4-4)$$

Aplicando la ecuación (4-1) y posteriormente realizando la conversión con la relación (4-2) se obtuvo para el tanque N°3

$$\begin{aligned} V_{TANQUE3} &= \pi * (20\text{cm})^2 * 40\text{cm} \\ V_{TANQUE3} &= 50265 \text{ cm}^3 = 50,3 \text{ litros} \end{aligned} \quad (4-5)$$

Luego se tomó los resultados (4-3), (4-4) y (4-5) para realización de la conversión de litros a kilogramos, se tuvo en cuenta para ello la densidad del líquido con el cual se llenaran los tanques. Para este caso el líquido a emplear fue agua que su densidad es $1g/1ml$

Obteniendo así los siguientes pesos:

$$P_{TANQUE1} = 29,7 \text{ litros} = 29,7kg \text{ (4-6)}$$

$$P_{TANQUE2} = 29,7 \text{ litros} = 29,7kg \text{ (4-7)}$$

$$P_{TANQUE3} = 50,3 \text{ litros} = 50,3kg$$

El máximo total de agua en todo el módulo es la suma de la capacidad del tanque N°1 (4-6) y N°2 (4-7). Por tanto el peso máximo de agua es

$$29,7kg + 29,7kg = 59,4kg$$

Ahora se procede a hallar el peso total de los tanques superiores, llenos hasta el nivel máximo establecido con la ecuación

$$P_{TOTAL TANQUE} = \text{Peso tanque vacio} + \text{Peso capacidad agua} \text{ (4-8)}$$

Aplicando la ecuación (4-8) se obtuvo para los tanques 1 y 2

$$P_{TOTAL TANQUE1} = 10,99kg + 29,7kg = 40,69kg \text{ (4-9)}$$

$$P_{TOTAL TANQUE2} = 8,93kg + 29,7kg = 38,63kg \text{ (4-10)}$$

Para un peso total se suman los resultados anteriores:

$$P_{TOTAL TANQUE 1y2} = 40,69kg + 38,63kg = 79,32 kg \text{ (4-11)}$$

4.5.3 CARACTERÍSTICAS TANQUES

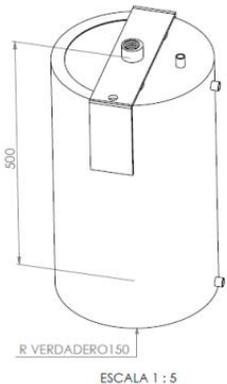
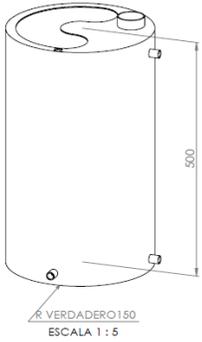
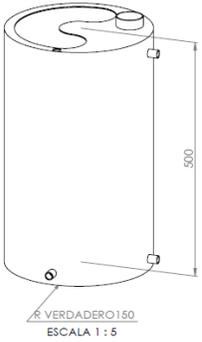
	TANQUE 1	TANQUE 2	TANQUE 3
Material	Acero Inoxidable	Acero Inoxidable	Acero Inoxidable
Altura (cm)	50	50	50
Radio (cm)	15	15	20
Masa (kg)	10,99	8,93	16,44
Capacidad que puede soportar (L)	35,3	35,3	62,8
Capacidad Máxima (L) para control de flujo	29,7	29,7	50,3
Capacidad Mínima (L) para control de flujo	4,2	4,2	0
Peso Máximo (kg)	40,69	38,63	66,74
Croquis			

Tabla 5. Características de tanques

4.6 ENSAMBLE DE LA ESTRUCTURA

La construcción de la estructura no se realizara por parte equipo de diseño, si no que se realizara un proceso de selección por parte del equipo comercial del proyecto juntamente con los entes correspondientes de la universidad.

El equipo de diseño hace entrega de los planos de la estructura y sus piezas a las personas encargadas de conseguir la empresa. Al llegar las estructuras y demás elementos se realizara ensamble y ajustes necesarios.

4.6.1 SOPORTES DE APOYO

Se completa y mejora la creación de la planta con estructuras metálicas como soportes para sujetar la resistencia eléctrica, el sensor de ultrasonido, la motobomba y las electroválvulas.

Se ensamblan las piezas en la estructura: el soporte angular de la Figura 9, es para sostener la pieza en el que va sujeto el variador de velocidad y la resistencia eléctrica, el soporte de la motobomba de la Figura 10 sostiene la nueva ubicación de esta, el soporte de resistencia eléctrica de la Figura 11 contiene la resistencia en el tanque N°3, el soporte superior de la Figura 12 soportara la tubería y las electroválvulas, el soporte de ultrasonido de la Figura 13 sostiene el tubo del sensor ultrasonido.

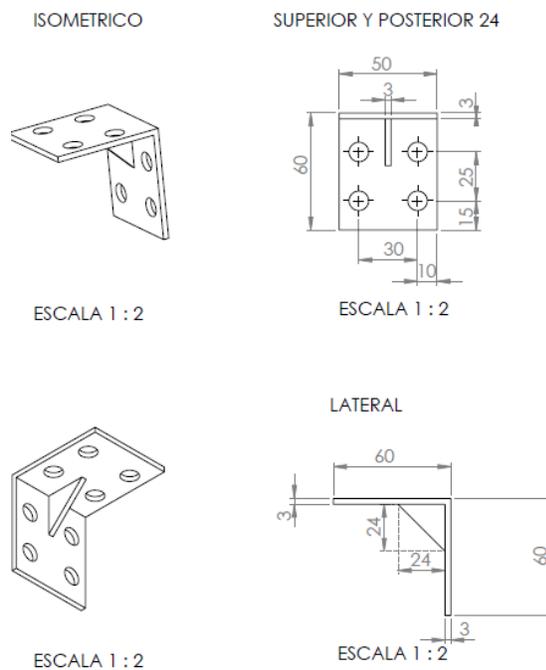


Figura 9. Soporte Angular

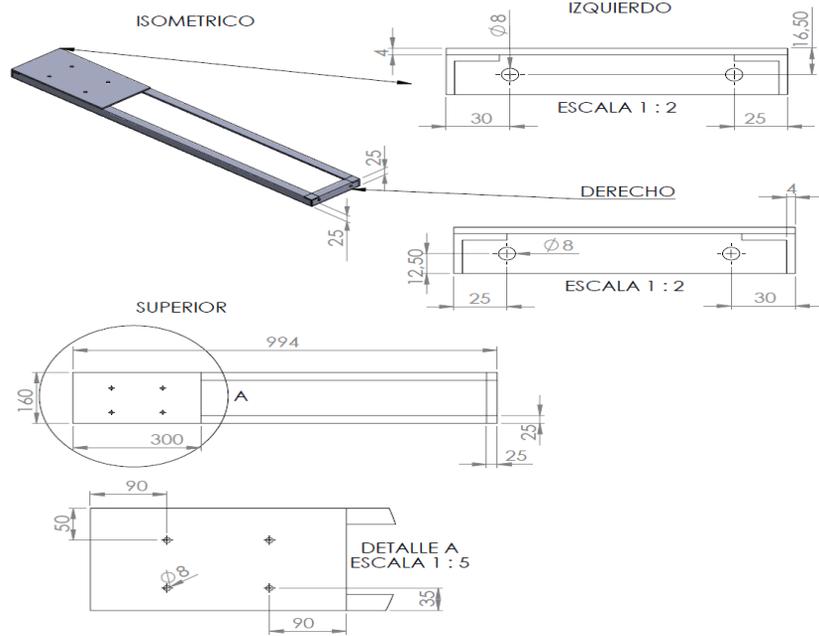


Figura 10. Soporte Motobomba

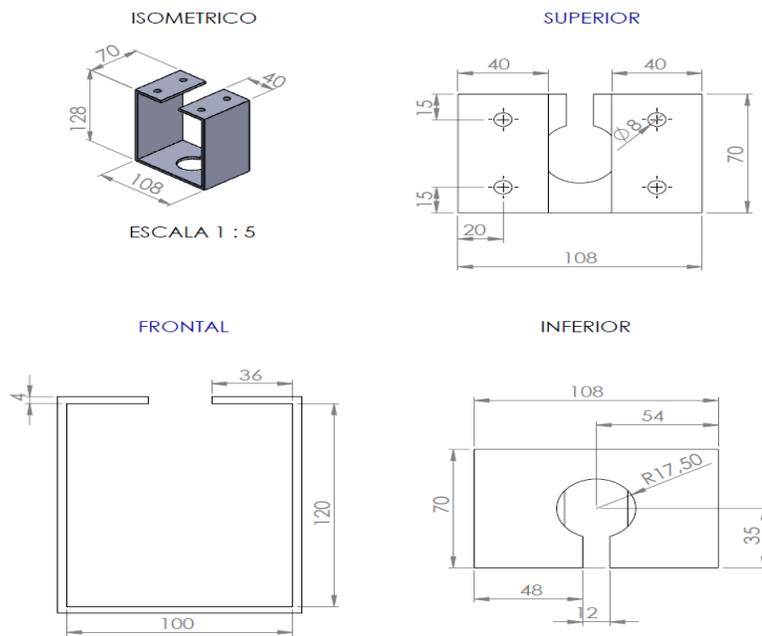


Figura 11. Soporte Resistencia eléctrica

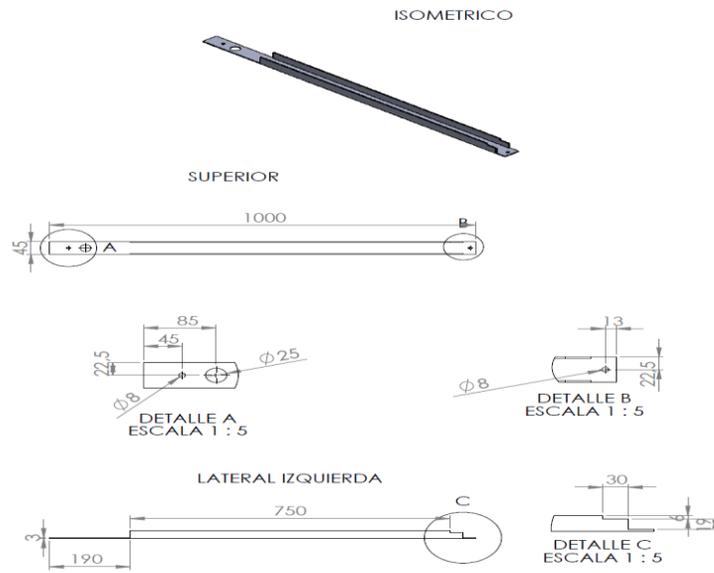


Figura 12. Soporte superior

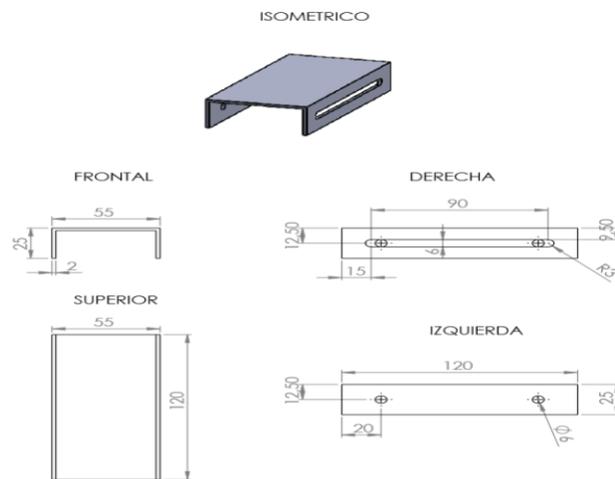


Figura 13. Soporte Ultrasonido

4.6.2 BOCETO DE SISTEMA HIDRÁULICO

Desde el grupo de diseño se planteó un esquema de distribución del sistema hidráulico, Figura 14 y 15, con tubería CPVC para temperatura de 100°C de acuerdo a la petición de los grupos de instrumentación, especialmente de caudal.

Se creó el boceto en Solidworks, pero la instalación la realizará el grupo de caudal.

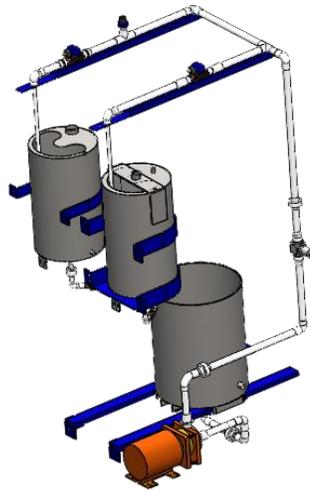


Figura 14. Sistema Hidráulico

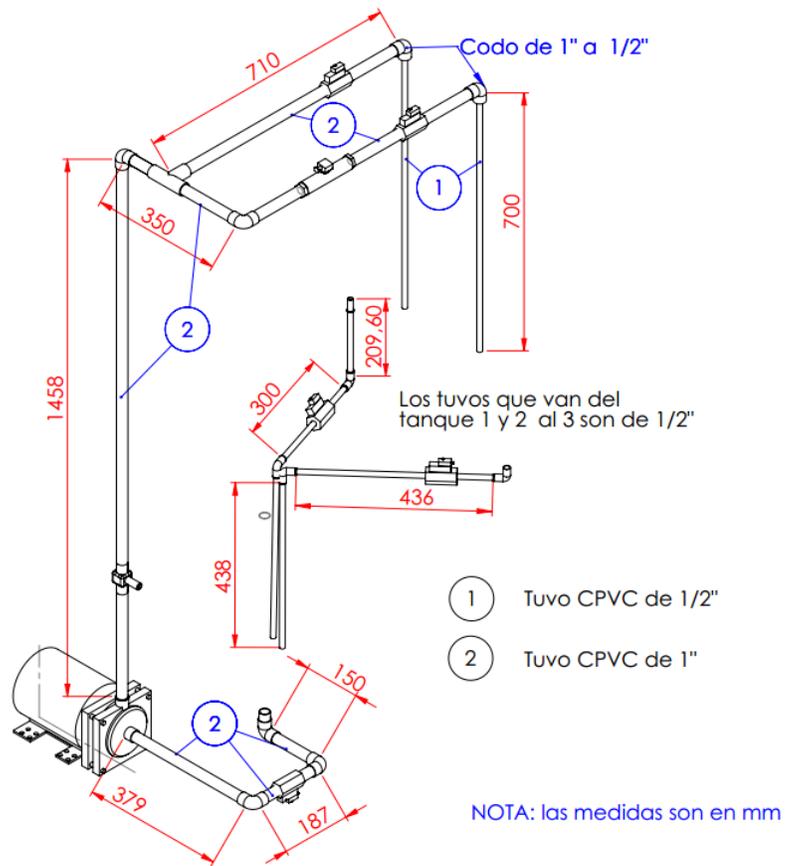


Figura 15.Sistema Hidráulico

En la Figura 15 se muestra una estructura hidráulica con tubo 1/2" tubería CPVC para la entrada de los tanques y tubería de 1" para la salida y entrada de la motobomba, tubería CPVC

4.6.3 DISEÑO FINAL

Se ensamblan todos los sensores con respectivos cambios en la estructura.

A continuación se presenta, la parte estructural del módulo terminada, con soportes y mejoras. Se entrega con pintura electrostática de color azul rey, con sistema hidráulico y sensores ubicados. Las convecciones de esta planta están distribuidas con los colores negro (Estructural) Verde (sistema hidráulico) y rojo (sistema sensórico).

4.6.3.1 MODULO ESTRUCTURAL

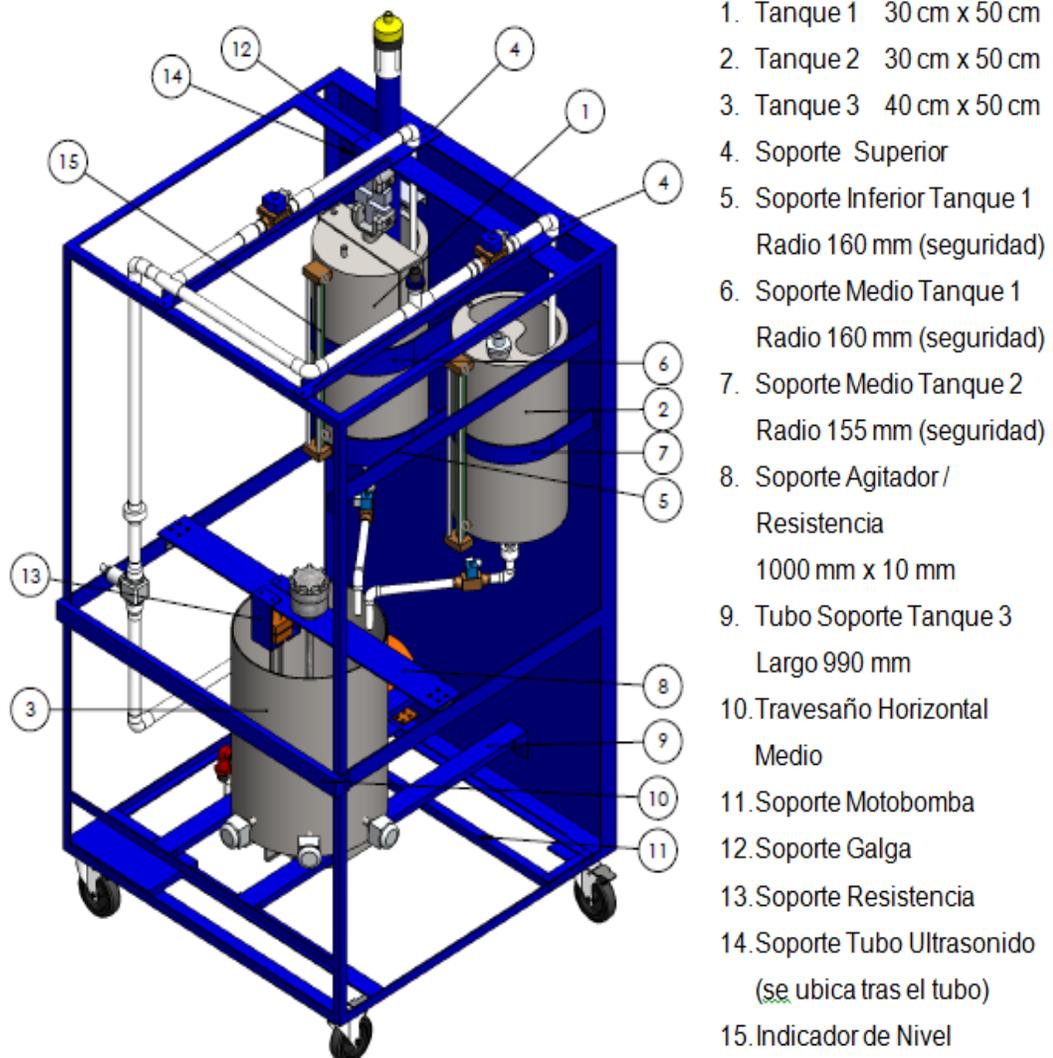
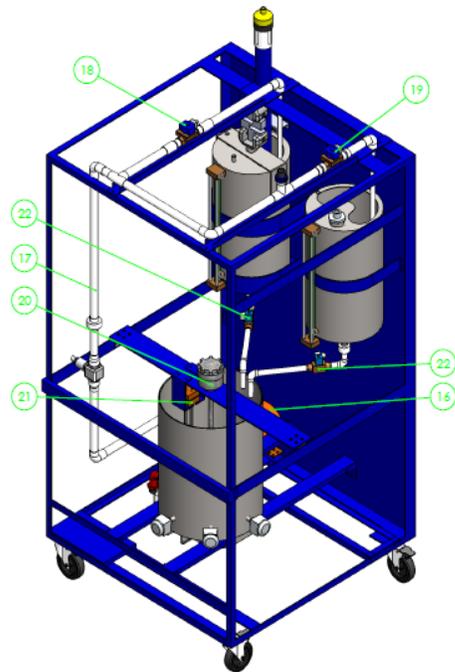


Figura 16. Sistema Estructural

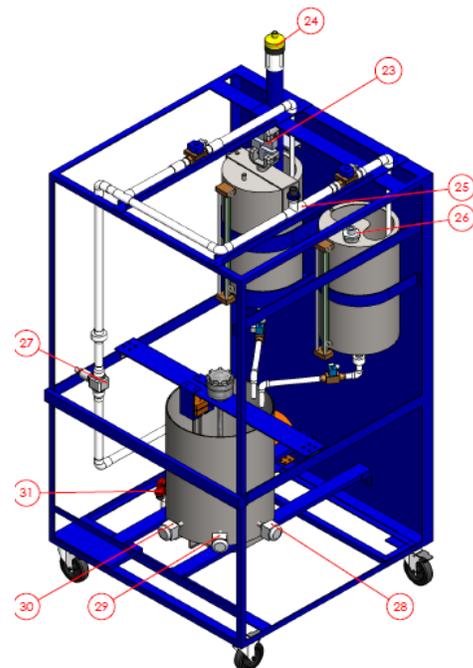
4.6.3.2 SISTEMA HIDRÁULICO



- 16. Motobomba 3 Hp
- 17. Tubos en CPVC (sistema de agua)
- 18. Válvula proporcional
- 19. Válvula On/off
- 20. Agitador
- 21. Resistencia
- 22. Válvulas de ½ Pulgada

Figura 17. Sistema Hidráulico

4.6.3.3 SISTEMA SENSÓRICO



- 23. Sensor de Galga
- 24. Sensor Ultrasónico
- 25. Sensor de Paletas
- 26. Sensor de Boya
- 27. Sensor Tubo Venturi
- 28. Sensor Termocupla
- 29. Sensor Termistor
- 30. Sensor RTD
- 31. Sensor de Presión Diferencial

Figura 18. Sistema Sensórico

4.6.3.4 MODULO MECCI COMPLETO

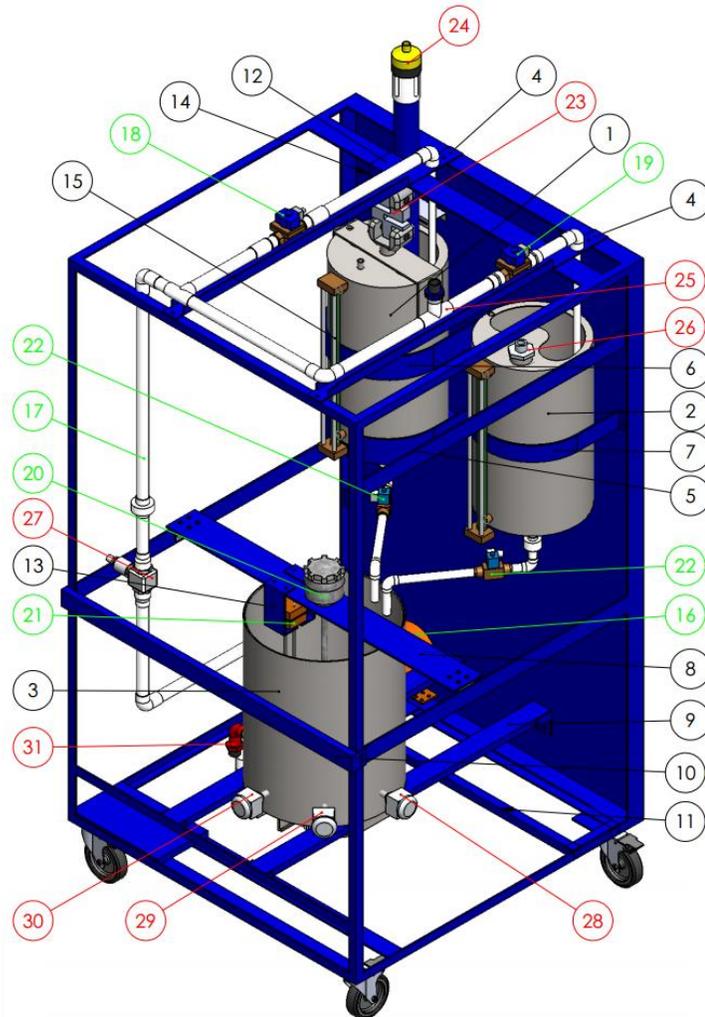


Figura 19. Modulo estructural MECCI 3D

4.7 CONSTRUCCIÓN MANUAL DE ENSAMBLE

Se construirá un manual de ensamble bastante específico y claro, con indicaciones escritas y graficas que mejoren la comprensión de los procesos a realizar.

5. ANALISIS DE RESULTADOS

Para el análisis de resultados es necesario determinar la resistencia del material, mediante un proceso de simulación con el software solidworks, que emplea como criterio la Tensión de Von Mises, criterio que se utiliza para el análisis de teorías de fallos en estructuras. El criterio establece que todo material tiene un límite elástico, y que el material empieza a romperse cuando la Tensión de Von Mises es igual a este límite.

5.1 REQUERIMIENTOS ESTRUCTURALES DE RESISTENCIA

5.1.1 ESTRUCTURA METÁLICA

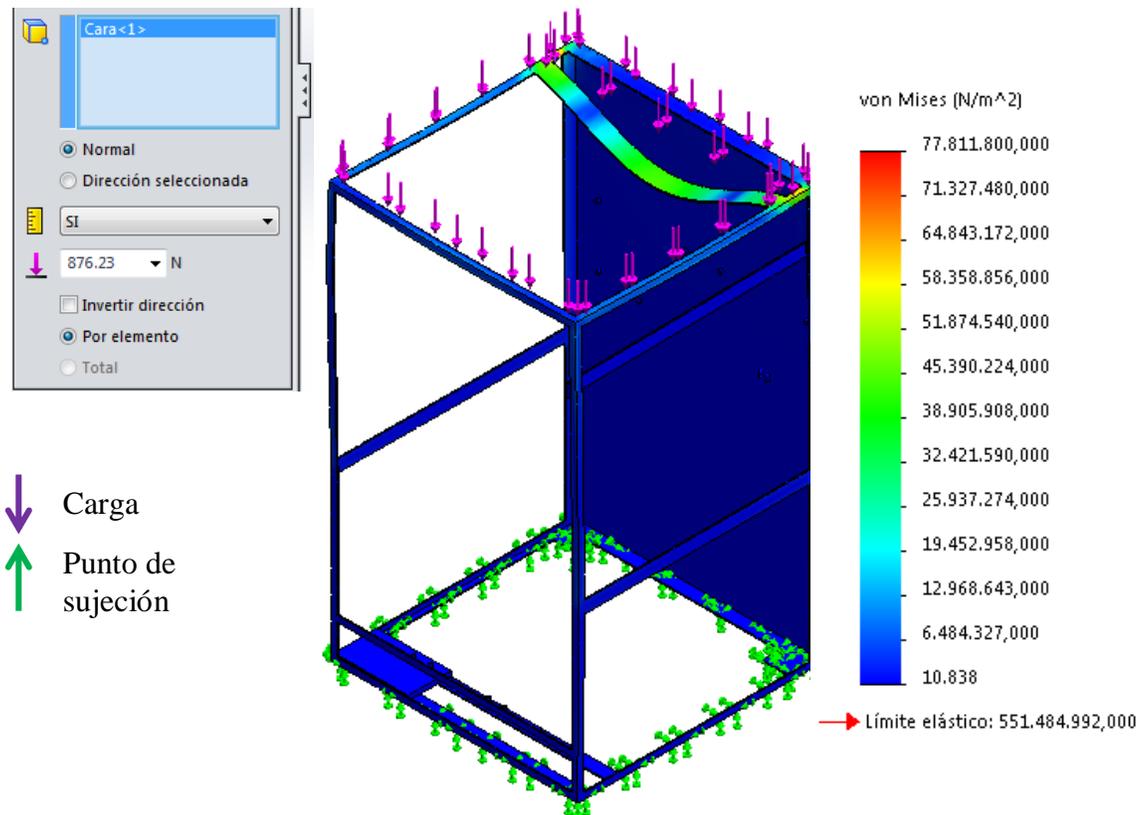


Figura 20. Estructura de hierro inicial – Simulación de resistencia de material

En la Figura 20, se muestra que la estructura en hierro soporta en la parte superior una fuerza de 876,23 N, equivalente a 89,32 Kg de peso. Este peso corresponde al peso de los tanques, el peso del líquido que pueden contener los tanques y una aproximación de los pesos de los sensores que se instalarán en los tanques.

Los resultados del análisis de resistencia estructural muestran que el límite elástico del material es de $5,51484992e^{+011}N/m^2$ y que el punto máximo de la tensión de Von Mises

en la estructura es de $7,78118 \text{ e}^{+010}\text{N/m}^2$, indicando así que el riesgo de fallo estructural es del 14,1 %.

Sin embargo se observa la deformación de uno de los soportes superiores. Por eso se diseñaron nuevos soportes que den mayor resistencia a esta parte de la estructura.

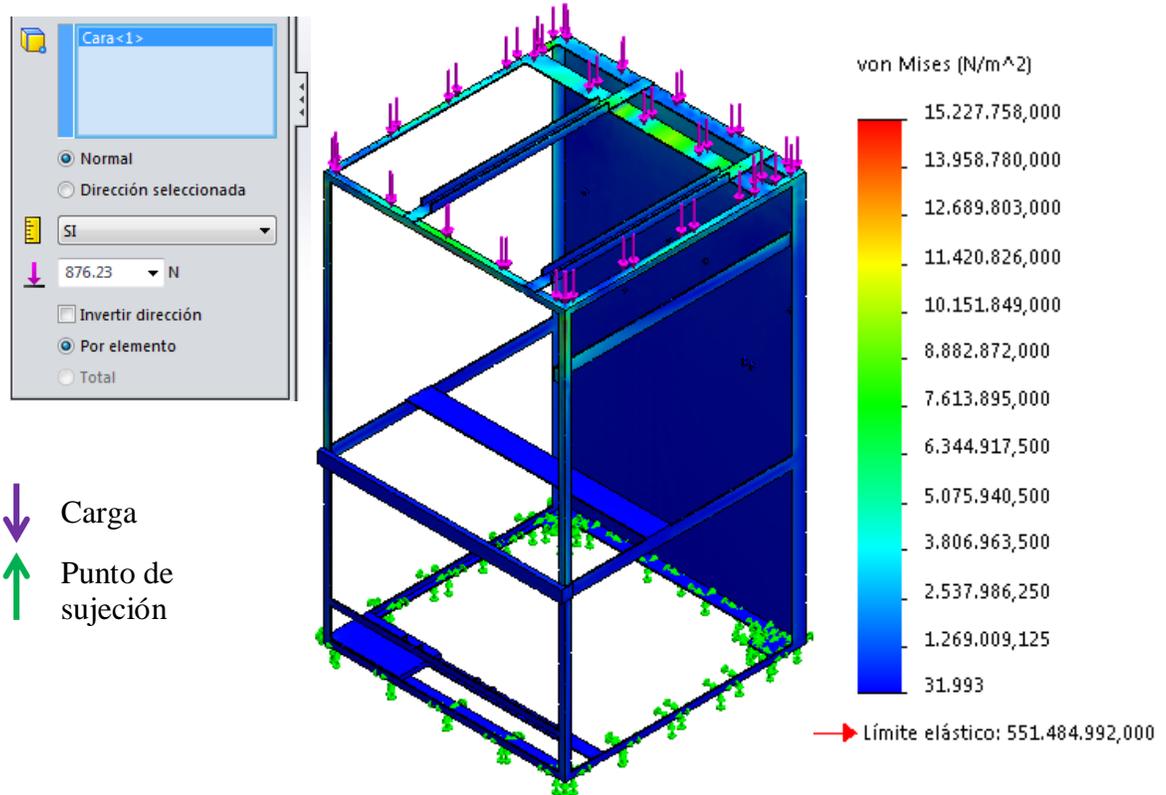


Figura 21. Estructura de hierro con modificaciones – Simulación de resistencia de material

En la Figura 21, se muestra que a la estructura en hierro se le ensamblaron cuatro soportes más y que de igual modo en la parte superior se aplica una fuerza de 876,23 N. Los resultados del análisis de resistencia estructural son más favorables en comparación a los análisis de resistencia de la estructura de la Figura 26, dado que se reduce el riesgo de fallo estructural a un 2,7%. Esto porque el límite elástico del material es de $5,51484992\text{e}^{+011}\text{N/m}^2$ y que el punto máximo de la tensión ahora es de $1,5227758 \text{ e}^{+010}\text{N/m}^2$.

Como valor adicional la simulación demuestra que la deformación se controla de manera favorable, dado que la flexión del soporte se redujo.

5.1.2 SOPORTES

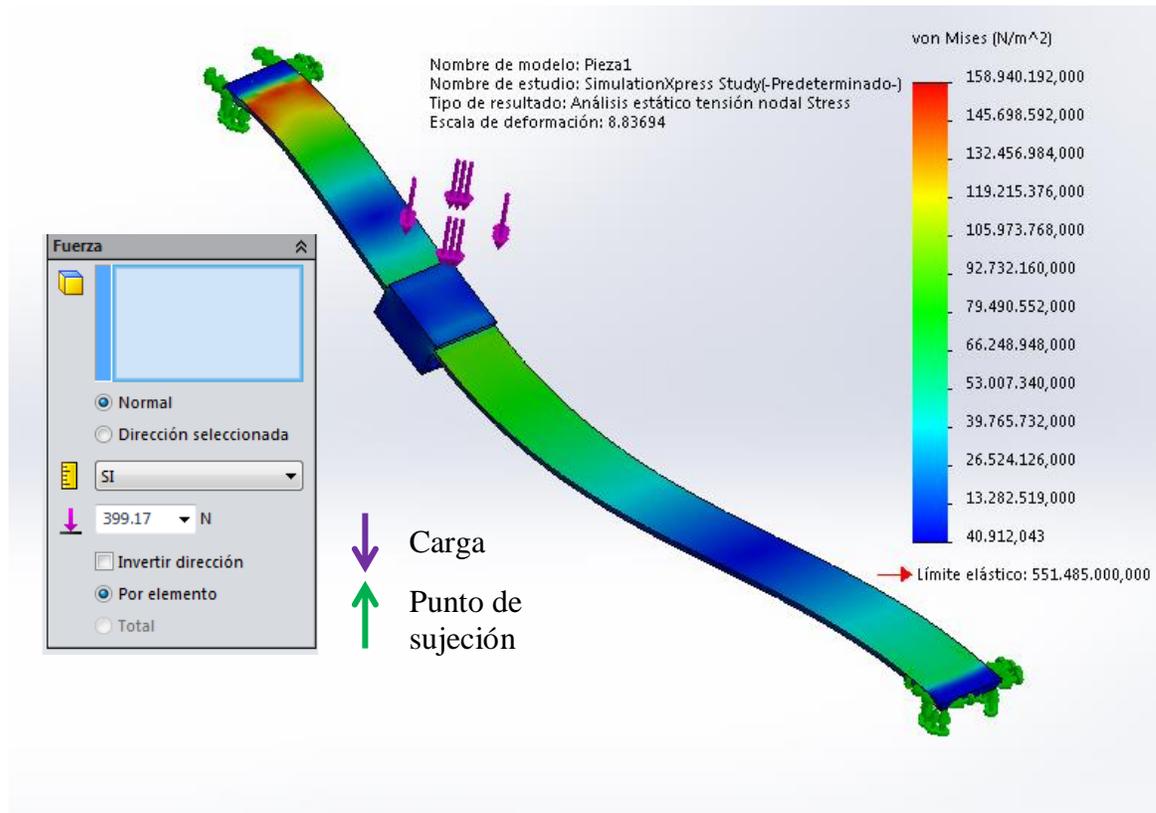


Figura 22. Resistencia soporte galga tanque 1

En la figura 22 se simula la resistencia del soporte del tanque N°1, al cual se le ejerce una fuerza 399,17N equivalente a 40,69 Kg, que corresponde al peso del tanque lleno. Los puntos de sujeción están a los extremos y el punto donde se ejerce la carga está al lado izquierdo a una distancia de 24 cm del borde.

En el análisis se observa que el límite de elasticidad del material es de $5,51485 \times 10^{11} \text{N/m}^2$ y que el punto máximo de la tensión es de $1,58940192 \times 10^{11} \text{N/m}^2$, indicando así que el riesgo de fallo estructural es del 28,8 %.

Lo cual demuestra que no presentaría inconveniente alguno para soportar el tanque en las condiciones especificadas.

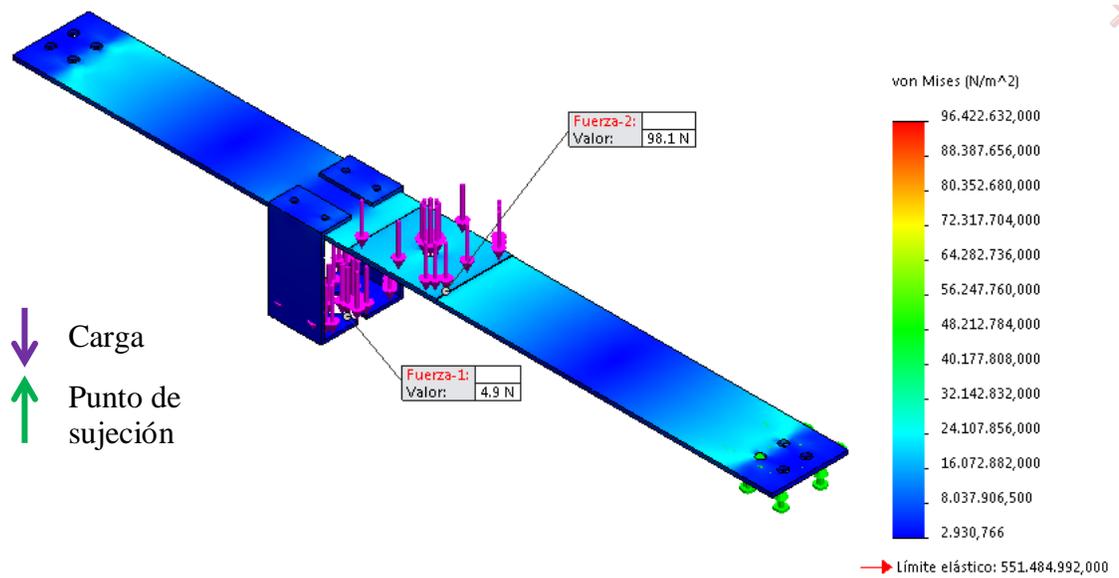


Figura 23. Resistencia soporte motoagitador

En la Figura 23, se muestra el soporte de la mezcladora, y el soporte de la resistencia eléctrica, se le aplica dos fuerzas en dos puntos diferentes. La fuerza 1 corresponde al peso de la resistencia eléctrica que es aproximadamente de ½ Kg equivalente a 4,9 N y la fuerza 2 corresponde al peso de la mezcladora que es aproximadamente de 10Kg equivalente a 98,1 N.

Los resultados del análisis de resistencia muestran que el límite elástico del material es de $5,51484992 \times 10^{11} \text{ N/m}^2$ y que el punto máximo de la tensión de Von Mises en el soporte es de $9,6422632 \times 10^{10} \text{ N/m}^2$, indicando así que el riesgo de fallo estructural es del 17,4 %.

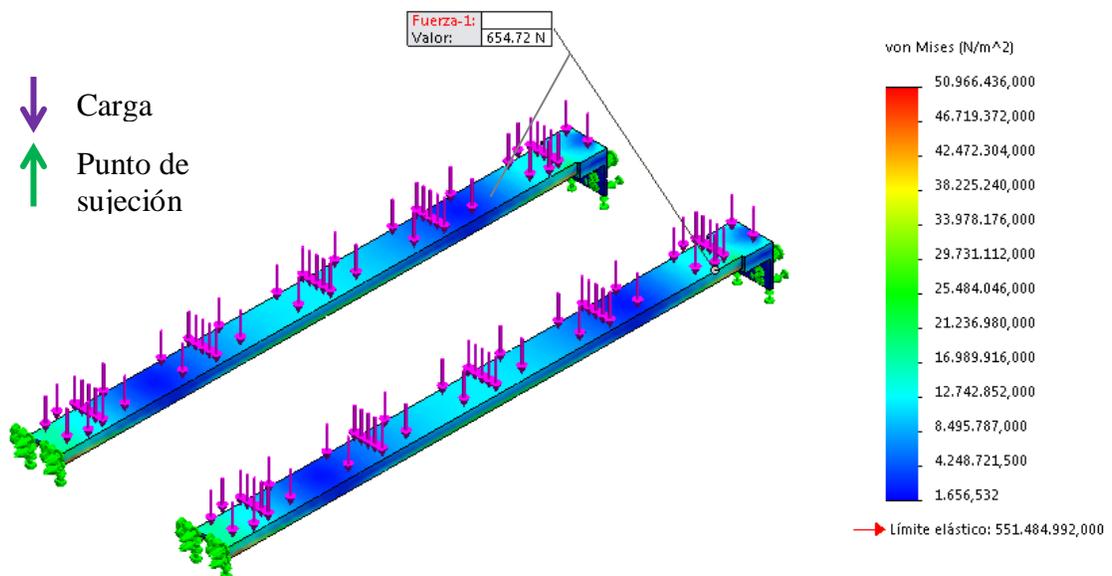


Figura 24. Resistencia soporte tanque 3

En la Figura 24, se muestra los soportes del tanque 3, sobre ellos se ejerce una fuerza de 654,72N que equivale 66,74 Kg, peso correspondiente al tanque lleno, sus puntos de sujeción se encuentra en los extremos. Se puede observar en la imagen que no hay puntos críticos en los soportes dado que su color tiende a ser azul en su totalidad.

Los resultados del análisis de resistencia muestran que el límite elástico del material es de $5,51484992e^{+011}N/m^2$ y que el punto máximo de la tensión de Von Mises en el soporte es de $5,966436 e^{+010}N/m^2$, indicando así que el riesgo de fallo estructural es del 9,2 %.

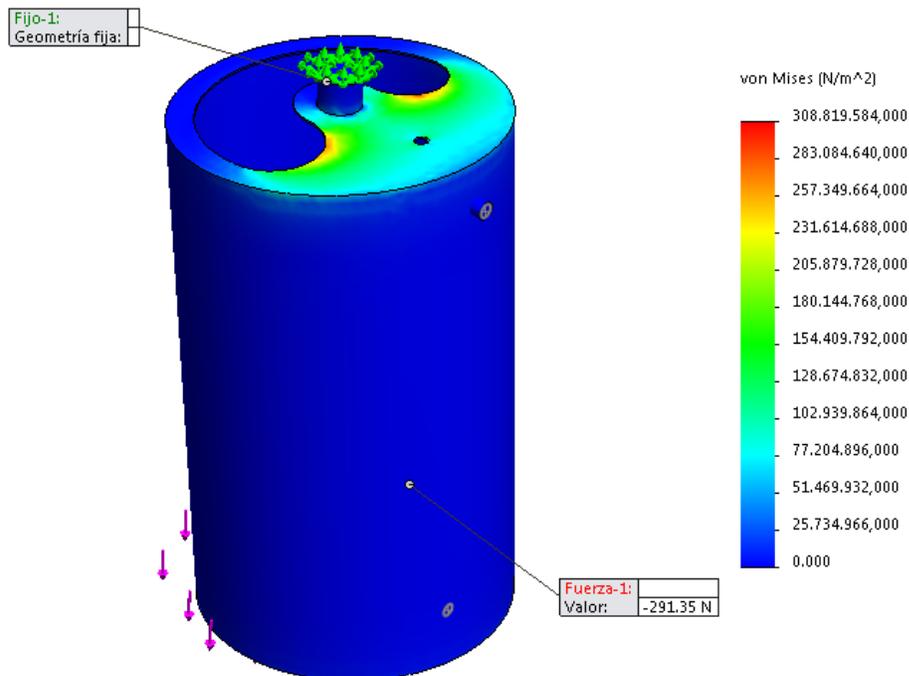


Figura 25. Resistencia punto sujeción tanque 1

En la Figura 25, se muestra el tanque 1, que es sometido a una fuerza de 291,35N equivalente a 29,7 litros de agua y el tanque se sujeta por un acople ubicado en la parte superior.

Al realizar el análisis se muestra en la imagen que existen dos puntos críticos alrededor del acople, por tal motivo es necesario ensamblar un refuerzo en esta parte como se indica a continuación.

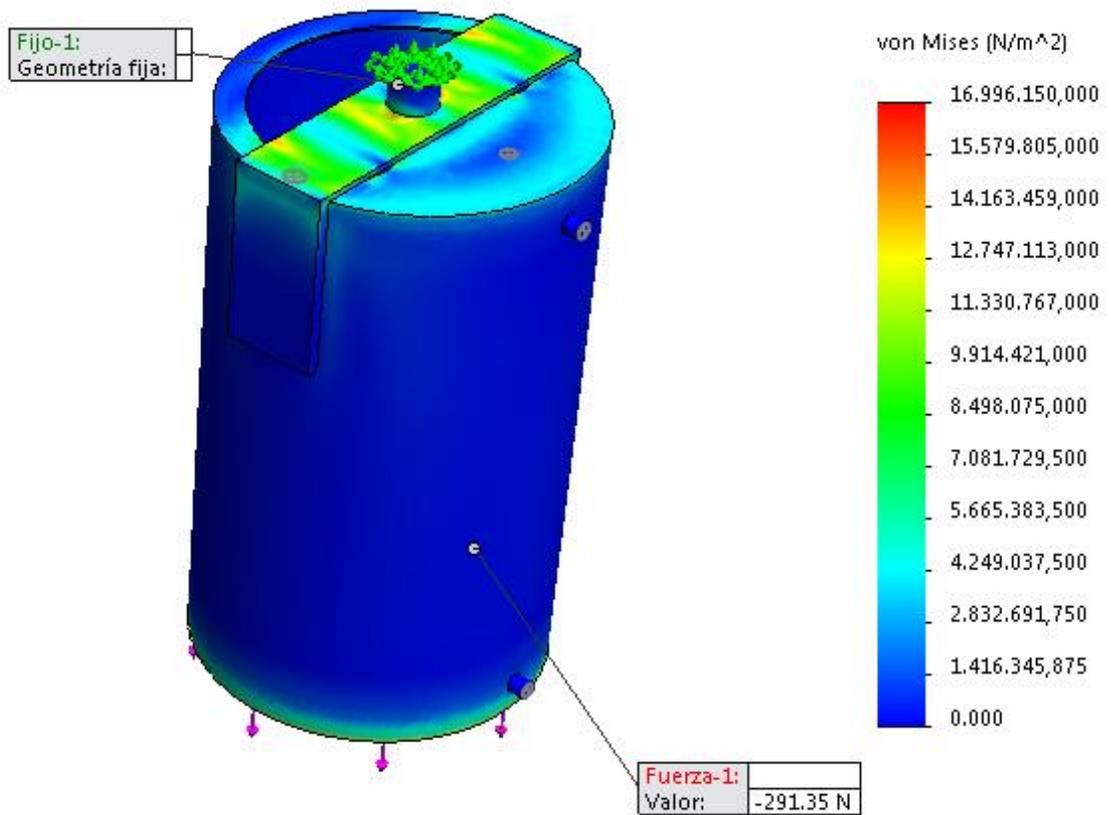


Figura 26. Tanque 1 con refuerzo

En la Figura 26 se observa que con el refuerzo en la parte superior del tanque 1, la tensión se distribuye de una manera más equitativa, aumentando así su resistencia.

5.2 MANUAL DE ENSAMBLE

Se construyó un manual de ensamble bastante específico y claro, con indicaciones escritas y gráficas que mejoran la comprensión de los procesos a realizar. El manual se encuentra como anexo.

6. CONCLUSIONES

- Se hizo un proceso de consulta del arte sobre diseño y construcción de estructuras metálicas, que permitió tener una visión más clara acerca de factores fundamentales como resistencia y estabilidad.
- Se realizó el diseño de la estructura mediante la implementación del software Solidworks y se ejecutaron procesos de simulación de resistencia estructural y flexión. En los resultados del análisis de resistencia estructural se evidenció que el riesgo de fallo estructural es del 14,1 %. Indicando así que el material y perfiles seleccionados para la estructura proporcionan seguridad en las mismas. Sin embargo se observó la deformación de uno de los soportes superiores. Por eso se diseñaron nuevos soportes que dieron mayor resistencia a esta parte de la estructura y disminuyeron el riesgo de fallo estructural a 2,7 %.
- Se sometieron los soportes adicionales de la estructura a un análisis de resistencia estructural y respondieron satisfactoriamente, dado que el riesgo de fallo mayor es de 28,8% y no presentaron puntos críticos.
- En el proceso de ensamble los componentes electrónicos, hidráulicos y mecánicos que se adquirieron no cumplían con las condiciones iniciales que se proyectaron en el diseño. Razón por la cual se hizo necesario el diseño y fabricación de nuevas piezas metálicas que garantizaran la ubicación y soporte de los nuevos elementos.
- se construyó un manual de ensamble bastante gráfico que permita entender de forma práctica los pasos de montaje de la estructura.

7. RECOMENDACIONES

- Antes de empezar a realizar cualquier montaje leer el manual de ensamble completamente.
- Al momento de realizar el ensamble de las estructuras, trabajar en un área amplia y limpia.
- Emplear las herramientas adecuadas para el ensamble, garantizando que las piezas no sufrirán daño alguno por mal uso.
- Fijar bien tornillos y tuercas de seguridad para evitar accidentes por imprudencia.
- Verificar que los componentes mecánicos, hidráulicos eléctricos y electrónicos se monten de manera apropiada antes de empezar las pruebas.

8. TRABAJO A FUTURO

- Realizar con el módulo MECCI un proceso de tratamiento de agua residual que tenga como fin eliminar los contaminantes físicos, químicos y biológicos presentes en el agua.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] HIBBELER, R.C.(1997). Análisis estructural. 3ed. México, Pearson.
- [2] DASSAULT SYSTEM, Criterio De Máxima Tensión De Von Mises, 1999-2014
[Online].Avalible:
http://help.solidworks.com/2010/spanish/SolidWorks/cworks/LegacyHelp/Simulation/Checking_stresses/prot_vonm.html
- [3] DASSAULT SYSTEM, 1999-2014
[Online].Avalible:
http://help.solidworks.com/2010/spanish/SolidWorks/sldworks/LegacyHelp/Sldworks/Fundamentals/SW_Fundamentals.htm?id=17b17d7b8cfc414c8231f54e24cd43c6#Pg0
- [4] ESCAMILLA, J. U.(2004). Análisis de estructuras. 2ed. Ecoe ediciones
- [5] FLORES J.A., MARTINEZ. A. (2011). Análisis de estructuras metálicas. 1ed. A. Madrid Vicente
- [6] TIMOSHENKO S. (1957). Resistencia de materiales. 1ed. Espasa calpa S.A. Madrid
- [7] Construpedia,CONSTRUMATICA,2012
[Online]. Avalible: <http://www.construmatica.com/construpedia/Pandeo>
- [8] CARLOS NICOLÁS MENDOZA. Análisis Y Diseño Estructural En Acero De Una Nave Industrialcon Especificaciones A.I.S.C, Escuela superior de ingeniería y arquitectura, México 2007

[Online].Avalible:<http://tesis.ipn.mx/jspui/bitstream/123456789/540/1/Tesis%20pdfnico%20lasmendoza.pdf>
- [9] Arqhys, ACERO CARACTERISTICAS,2015
[Online]. Avalible: <http://www.arqhys.com/construccion/acero-caracteristicas.html>
- [10] Facultad de ingeniería, ACERO, Universidad Nacional Autónoma de México,2011

[Online].Avalible:http://www.ingenieria.unam.mx/herescas/papime/alumnos_herecas/Materiales/PO-Tema4.5-Aluminio%20_S2006-2_Texto.pdf
- [11] FERNANDO PINO, Características Del Hierro, Julio 2013
[Online].Avalible:<http://curiosidades.batanga.com/4515/caracteristicas-del-hierro>
- [12] DAVID MARTÍNEZ, ¿Porque PVC y no otros plásticos?
[Online].Avalible:<http://www.eis.uva.es/~macromol/curso07-08/pvc/porqueelpvc.html>

- [13] Unidad general en asuntos jurídico, NORMAS TECNICAS COMPLEMENTARIAS PARA DISEÑO , Secretaria de gobernación México, 2013-2018
- [Online].Avalible:<http://www.ordenjuridico.gob.mx/Estatal/DISTRITO%20FEDERAL/Normas/DFNORM11.pdf>
- [14] Autofem, AUTOFEM: ANALISIS DEL PANDEO (DE LA ESTABILIDAD),Autocad.
- [Online].Avalible:<http://www.autofemsoft.com/es/productos/analisis-de-pandeo.html>
- [15] Facultad ingenieria mecanica, ANALISIS NUMERICO DEL COMPORTAMIENTO O CARGA CICLICA DE SOLDADURAS APLICADAS EN ACERO ESTRUCTURAL,EVALUADAS POR LA TECNICA DE SIMULACION POR LA TECNICA DE SIMULACION POR ELEMENTOS FINITOS, Universidad de Ibague,26 Abril 2013.
- [Online].Avalible:http://www1.unibague.edu.co/sitios/imecanica/index.php?option=com_content&view=article&id=105:analisis-numerico-del-comportamiento-a-carga-ciclica-de-soldaduras-aplicadas-en-acero-estructural-evaluadas-por-la-tecnica-de-simulacion-por-elementos-finitos&catid=25:proyectos&Itemid=36
- [16] SAÚL GONZÁLEZ, Elementos Amovibles Y Fijos No Estructurales, Centro integrado de formación profesional número uno ,26 octubre 2013.
- [Online].Avalible:<http://eafsgc.blogspot.com/2013/10/solicitaciones-mecanicas-de-los.html>
- [17] Metalikos,ESTRUCTURAS METALICAS: RIESGOS Y MEDIDAS PREVENTIVA,Metalikos;Diseño ,fabricación y montaje,2014
- [Online].Avalible:<http://www.metalikos.com.co/medidas-preventivas-en-la-fabricacion-de-estructuras>.
- [18] AZA ,GERDAN, Manual De Diseño Para Ángulos Estructurales LAZAAISC,ASD-1989,LRFD-99
- [19] Acueducto, REGLAMENTO TECNICO DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BASICO RAS 2000,Rep Colombia-ministro de desarrollo ,2000 Bogotá
- [20] Agencia de gestión urbana ciudad de México, NORMAS TÉCNICAS COMPLEMENTARIAS PARA DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE ESTRUCTURAS METÁLICAS,2010-2013
- [Online].Avalible:http://www.agu.df.gob.mx/instituto/Descargas/Normas/ntc_DisenoConstrucEstructurasMetalicas.pdf

[21] HIBBELER, R.C. Ingeniería Mecánica: Estática. Décimo segunda edición. México, Prentice Hall.

10. ANEXOS

9.1 MANUAL DE ENSAMBLE

9.2 PLANOS PARTE ELECTRICA