



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO



FACULTAD DE INGENIERÍA
DIVISIÓN DE INGENIERÍA MECÁNICA E INDUSTRIAL

“REDISEÑO Y FABRICACIÓN DE 10 CAJAS PARA PROTEGER Y
TRANSPORTAR MOTO GENERADORES LISTER PETER

INFORME DE TRABAJO PROFESIONAL

Para obtener el título de
INGENIERO MECÁNICO

PRESENTA:
CARLOS ARTURO GONZÁLEZ LÓPEZ

ASESOR:
Ing. Mariano García del Gállego

Ciudad Universitaria, México, D.F. 2013

Índice	1
Resumen	3
Introducción	4
Capítulo I	
I.1- Historia del Instituto Mexicano del Petróleo (IMP)	7
I.2- Objetivos, Misión y Visión del IMP	7
I.3- Estructura del IMP	8
Capítulo II	
II.1- Información general del grupo de Sistemas y Herramientas para la Adquisición de Información de Pozos (SHAIP)	10
II.2- Descripción del Puesto Laboral de Ingeniero de Desarrollo dentro del Grupo SHAIP	11
Capítulo III	
III.1 - Definición del problema	13
III.2- Objetivo y alcances	13
III.3- Método y su aplicación	13
III.3.1- Levantamiento de Campo.....	16
III.3.2- Diseño conceptual.....	19
-Parámetros de Entrada.....	19
-Parámetros de Salida.....	19
-Boceto.....	20
-Dibujo de Estructura en CAD.....	22
III.3.3- Diseño a detalle.....	25
-Importación del modelo virtual.....	26

-Definición del tipo de estudio a realizar.....	27
-Establecimiento de las condiciones de entrada entre los elementos los elementos y grados de libertad.....	28
-Establecimiento del tipo de material para el análisis.....	29
-Discretización de los elementos.....	30
-Aplicación de las condiciones de carga.....	31
-Graficas de los resultados.....	32
-Conclusiones del análisis por elementos finitos.....	35
III.3.4- Fabricación.....	43
-Memoria fotográfica del proceso de Fabricación.....	47
-Prueba de Líquidos Penetrantes.....	49
-Sand blast(Arenado).....	51
-Acabado con pintura electrostática.....	52
-Entrega/Recepción.....	53
Capítulo IV.	
IV.1 Conclusiones y Recomendaciones.....	54
V. Bibliografía.....	56
VI. Anexos.....	57

-RESUMEN

El presente trabajo se ha realizado para cumplir con uno de los múltiples requerimientos solicitados por el área de Registros de Servicios a Pozos, dentro del amparo del contrato “Servicio de asistencia técnica especializada en el suministro de herramientas y accesorios para las operaciones de registros geofísicos de la División Marina (Proyecto F.30807)”, y en el cual se muestra la metodología empleada y desarrollada para el rediseño y manufactura de 10 cajas para transportar Generadores Lister Peter, abarcando desde el levantamiento en campo de los requerimientos del personal operario, hasta la supervisión de la manufactura de estas cajas de protección, tomando como base los parámetros del diseño mecánico aplicado al modelo propuesto, es decir, desde su concepción como prototipo en etapa de diseño conceptual hasta su diseño a detalle con uso de software especializado en elementos finitos para la validación del modelo de forma virtual. Así, tenemos como resultado de éste trabajo un beneficio económico para Pemex Exploración y Producción del 300%, entregando un producto fabricado con calidad y bajo las normas vigentes.

- INTRODUCCIÓN

En la Industria Petrolera las condiciones de trabajo (alta presión, alta temperatura, sustancias altamente corrosivas, etc.) a las que están sometidos los componentes y sistemas mecánicos generan gran deterioro con el paso del tiempo, poniendo en riesgo no solamente la correcta operación, sino que en muchos de los casos vidas humanas. Para dar solución a esta problemática, la industria petrolera depende de los servicios de mantenimiento proporcionado por las compañías que proveen dichos componentes y sistemas que en su mayoría son extranjeras, por consiguiente el mantenimiento y/o las refacciones tienen el mismo origen con su correspondiente incremento en costo y tiempos de entrega.

Para el desarrollo de las operaciones y actividades rutinarias de Servicio a Pozos (SERAP), el Instituto Mexicano del Petróleo (IMP) ofrece el diseño de accesorios y herramientas especiales para pozo, para ello cuenta con la infraestructura de laboratorios en las áreas metal-mecánica, presión y temperatura, modelado de herramientas, electrónica, análisis de materiales, automatización y control.

El IMP cuenta con un grupo especializado en el diseño y construcción mecánica de herramientas para pozo y sus accesorios: Sistemas y Herramientas para la Adquisición de Información de Pozos (SHAIP).

El grupo SHAIP pertenece a la Gerencia de Exploración y Producción y está dedicado en lo fundamental al desarrollo de tecnologías innovadoras para la aplicación en los Activos de Producción y áreas operativas de pozos, considerando un equipo técnico de trabajo de alto nivel y gran experiencia de campo, aportando Soluciones Integrales con valor para Pemex Exploración y Producción (PEP). SHAIP es un grupo multidisciplinario, compuesto de ingenieros mecánicos, electrónicos, petroleros y técnicos en máquina-herramienta, gracias a esto ha desarrollado soluciones para cubrir las necesidades de PEMEX Exploración y Producción.

La subgerencia de Servicio a Pozos, Superintendencia de Registros Geofísicos, División Marina de Pemex Exploración y Producción, mediante la propuesta técnica económica No. 30807 (ver anexo 1), solicita al grupo SHAIP, el rediseño, análisis y fabricación de 10 cajas para transportar moto generadores marca Lister Peter, debido a que actualmente las cajas empleadas para transportar dichos generadores han rebasado su vida útil, presentándose en muchas de estas picaduras y corrosión en zonas críticas de carga (en especial los elementos usados durante el izaje), improvisando el reemplazo de dichos elementos por otros de características geométricas y en material diferentes a las originales, disminuyendo la confiabilidad en su operación y poniendo en riesgo tanto el bien físico como la vida de los operadores que transportan y manipulan los contenedores en las plataformas. Así mismo, estos modelos de cajas, presentan filtración de agua dentro de su interior, poca ventilación durante la operación del generador, lo que provoca que este trabajo con sobrecalentamiento y ocupando un mayor espacio durante la

operación del generador, provocando disminución en el área de la zona de trabajo, aumentando el factor de riesgo del personal.

Los generadores Lister sirven para abastecer de energía eléctrica a todos los dispositivos electrónicos de las cabinas móviles ubicadas en plataformas marinas, los cuales son retirados al concluir el trabajo y reubicados en otras cabinas donde son requeridos, que no necesariamente son en la misma plataforma.

El traslado a la nueva área de trabajo se realiza mediante transporte marítimo, durante el cual el generador está expuesto a diversos riesgos tales como: golpeteo con otros contenedores, caídas e impactos durante la estiba, entre los más importantes. Para minimizar los daños que pueden generar estos riesgos, se emplean las cajas para transporte y así garantizar que lleguen en óptimas condiciones.

Como especialista del grupo SHAIPI, se me encomendó ejecutar y supervisar las actividades de rediseño de la caja para transportar el Generador Lister. Por ello, participé en la recopilación de la información en campo, acudiendo al lugar donde se encontraba resguardada la estructura que habitualmente se usa, esto con la finalidad de realizar la inspección visual, tomar dimensiones generales y bocetos a mano alzada, platicar con el personal que opera el generador y con el personal que realiza el transporte, así mismo como realizar la memoria fotográfica y recopilar toda la información posible que tuviera el personal de PEMEX.

Con base a la información recopilada y las necesidades del cliente, realicé en las Instalaciones del IMP, el rediseño conceptual de la caja, dibujando un modelo en 3D en el software de diseño "Mechanical Desktop de Autodesk", posteriormente propuse un modelo en CAD de ingeniería. Aplicando las condiciones de operación de izaje, peso del generador y la estructura, efectué el análisis de esfuerzo mediante el software de análisis de elemento finito "COSMOS/DesignSTAR". Con base en este análisis llegué a la conclusión de que el rediseño de la estructura principal de la caja soporta las condiciones de trabajo con un Factor de Seguridad Distribuido de 6, cumpliendo con esto la norma API-SPEC 8A.

Una vez concluido el análisis del diseño, redacté el informe escrito de los resultados y tras la aprobación del Jefe de Proyecto y visto bueno de los ingenieros mecánicos del área, procedí a entregarlo y exponerlo al personal de PEMEX de la Subgerencia de Servicio a Pozos, y así obtener la autorización para proceder a la Fabricación de las 10 cajas de transporte.

Con la validación del personal de PEMEX, realicé la ingeniería de diseño a detalle. Con los planos de fabricación, solicité la cotización y la compra de los materiales de fabricación con diferentes proveedores. La selección del fabricante se basó en los precios y tiempos de entrega para desarrollar este trabajo.

Durante la supervisión de la fabricación se emplearon las pruebas no destructivas (Prueba por líquidos penetrantes) para garantizar la calidad del producto y cumplir con las normas internacionales establecidas.

La etapa final de este trabajo consistió en entregar las cajas en el muelle de recepción de PEMEX, con este proyecto se obtuvo un ahorro económico por parte de PEMEX del 300% con respecto a los demás competidores.

CAPÍTULO I

1.1- HISTORIA DEL INSTITUTO MEXICANO DEL PETRÓLEO.

El Instituto Mexicano del Petróleo (IMP), fue creado el 23 de agosto de 1965 (Figura 1.1), como consecuencia de la transformación industrial del país y de la necesidad de incrementar la tecnología relacionada con el desarrollo de las industrias petrolera, petroquímica básica, petroquímica derivada y química. Es el centro de investigación de México dedicado al área petrolera, cuyos objetivos principales son la investigación y desarrollo tecnológico, la ingeniería y servicios técnicos, la capacitación, el otorgamiento de grados académicos, la comercialización de los resultados de la investigación y desarrollo tecnológico, y la suscripción de alianzas estratégicas y tecnológicas.



Figura 1.1. Creación del IMP

1.2- OBJETIVOS, MISIÓN Y VISIÓN DEL IMP.

En el decreto que se publicó en el Diario Oficial el 26 de agosto de 1965, se establecen como objetivos del IMP:

- La investigación científica básica y aplicada,
- El desarrollo de disciplinas de investigación básica y aplicadas,
- La formación de investigadores,
- La difusión de los desarrollos científicos y su aplicación en la técnica petrolera,
- La capacitación de personal obrero que pueda desempeñar labores en el nivel subprofesional, dentro de las industrias petrolera, petroquímica básica,

petroquímica derivada y química. A más de cuatro décadas, el IMP sigue cumpliendo con los objetivos que le dieron vida.

Como centro público de investigación, el Instituto Mexicano del Petróleo tiene la Misión de transformar el conocimiento en tecnología y servicios de valor para la industria petrolera; y la Visión de ser un centro público de investigación de clase mundial con personal reconocido, con tecnologías y servicios que contribuyen al desarrollo de la industria petrolera.

Actualmente, mediante un renovado esfuerzo y una mayor sinergia con Pemex, el IMP busca integrarse a los objetivos y grandes proyectos de esta empresa, al ofrecerle investigación, capacitación y prestación de servicios de alto contenido tecnológico, que le permitan aumentar su eficiencia, productividad y crecimiento.

Los valores institucionales son fundamentales para realizar la misión y alcanzar la visión. El IMP reconoce tres valores:

- Integridad y congruencia.- Tiene un comportamiento ético en acciones y decisiones, con honestidad, respeto, confianza, compromiso y responsabilidad.
- Liderazgo.- Apoyo el logro de la misión y visión con el ejemplo personal, promoviendo tanto la innovación y creatividad, así como el sentido de pertenencia, identidad y lealtad de la comunidad.
- Calidad.- Sus esfuerzos se basan en el conocimiento y los orientamos a la satisfacción de sus clientes, actuando de manera efectiva con oportunidad y competitividad.

1.3- ESTRUCTURA DEL IMP.

El Instituto Mexicano del Petróleo atiende las necesidades de la industria petrolera nacional y de otros usuarios a través de cinco Direcciones de Especialidad (Figura.1.2):

- Exploración y Producción
- Ingeniería de Proceso
- Ingeniería de Proyecto
- Seguridad y Medio Ambiente
- Capacitación

Para los objetivos de este informe, nos enfocaremos en la dirección de exploración y producción que es a la que pertenece SHAIP.

Exploración y Producción

Genera soluciones con alto contenido tecnológico en las áreas estratégicas de exploración y producción, por medio del fortalecimiento del factor humano, la infraestructura, la rentabilidad de sus productos y el soporte de un equipo de

investigadores y especialistas. Así contribuye a elevar el desempeño de la industria petrolera en un marco sostenible y sustentable.

La Dirección de Exploración y Producción orienta estratégicamente sus esfuerzos para el desarrollo de diferentes productos que integran su cartera. En el siguiente diagrama se muestran las direcciones por las que está conformado el IMP, destacando que el grupo SHAIP pertenece a la Dirección de Exploración y Producción.



Figura 1.2. Direcciones del IMP

CAPÍTULO II

II.1- INFORMACIÓN GENERAL DEL GRUPO DE SISTEMAS Y HERRAMIENTAS PARA ADQUISICIÓN DE INFORMACIÓN EN POZOS (SHAIP)

El grupo SHAIP pertenece a la Gerencia de Exploración y Producción y está dedicado en lo fundamental al desarrollo de tecnologías innovadoras para la aplicación en los Activos de Producción y áreas operativas de pozos, considerando un equipo técnico de trabajo de alto nivel y gran experiencia de campo, aportando soluciones integrales con valor para Pemex Exploración y Producción (PEP). SHAIP es un grupo multidisciplinario, compuesto de ingenieros mecánicos, electrónicos, petroleros y técnicos en máquina-herramienta (ver Figura 2.1), gracias a esto ha desarrollado soluciones para cubrir las necesidades de PEMEX Exploración y Producción.

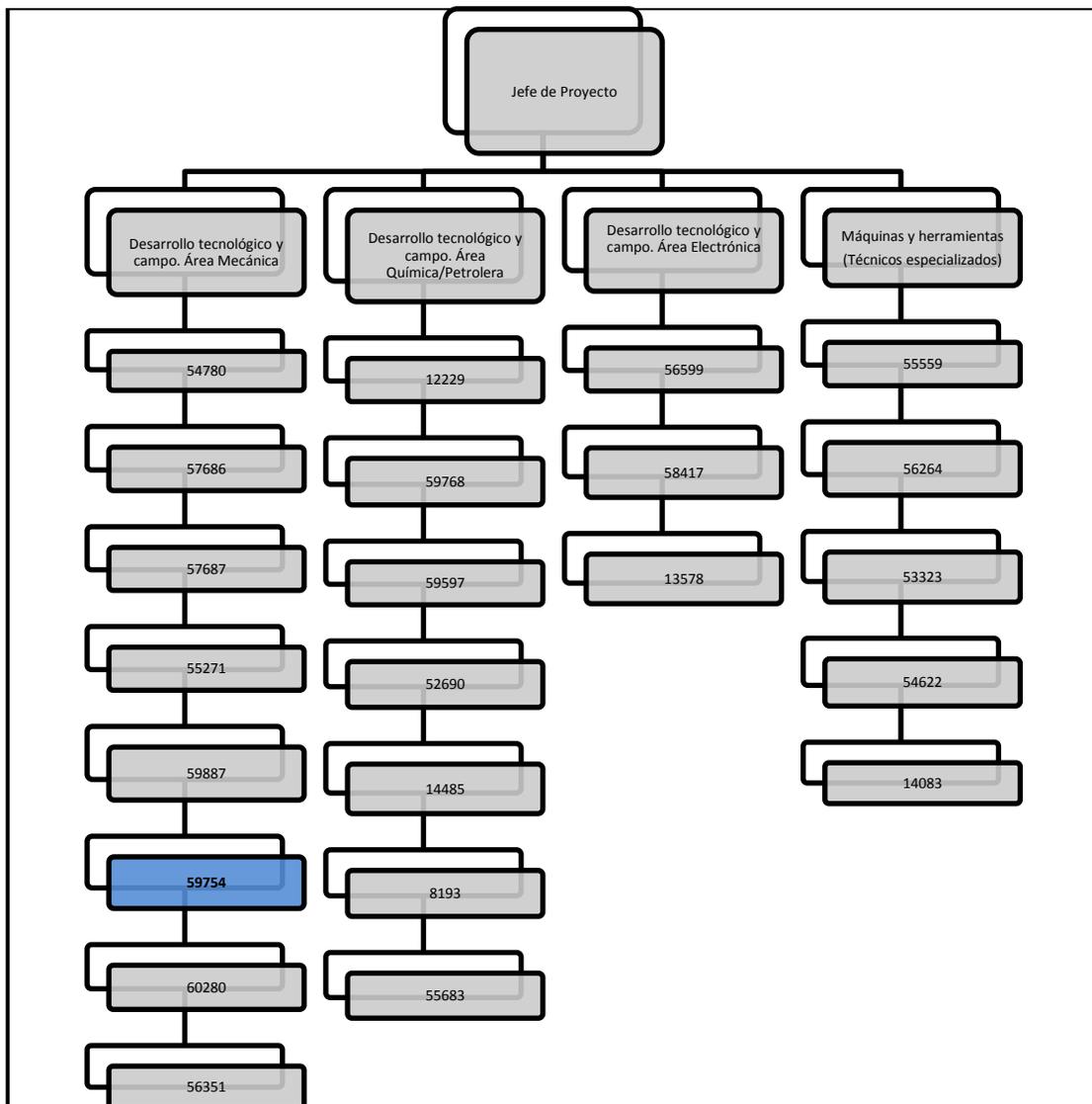


Figura 2.1. Organigrama del grupo SHAIP, siendo mi clave 59754.

Actualmente el grupo de SHAIP, ha formado el recurso humano a través de conocimientos, habilidades y actitudes requeridos para generar soluciones a partir de la identificación de las necesidades de PEMEX, permitiendo el desarrollo tecnológico que genera productos de alto valor.

El grupo SHAIP cuenta con la siguiente infraestructura de laboratorios en las áreas metal-mecánicas, laboratorio de presión y temperatura para modelado de herramientas de pozos, laboratorios de electrónica, laboratorios de análisis de materiales, automatización y control. Así mismo ha prevalecido a la vanguardia en el desarrollo de software especializado para la adquisición de información en pruebas de pozos.

Dispone de especialistas en el manejo de software especiales para modelar elementos mecánicos, estructurales, análisis de sistemas mecánicos complejos, software para ingeniería petrolera, ingeniería electrónica, diseño y simulaciones de realidad virtual.

Por su calidad, competitividad y excelencia técnica, el grupo ha desarrollado varios proyectos con resultados de impacto para las entidades de PEP, directamente servicios a los Activos de las Regiones Norte, Sur y Marina.

II.2- DESCRIPCIÓN DEL PUESTO LABORAL DE INGENIERO DE DESARROLLO DENTRO DEL GRUPO SHAIP.

Para el grupo, he participado a lo largo de 3 años como Ingeniero de Desarrollo dentro del área mecánica, participando ya sea como encargado o como colaborador en el desarrollo de soluciones de los diferentes proyectos. Cuando soy encargado, mantengo contacto directo con el personal de PEMEX que tiene el requerimiento, colaboro y en su caso, superviso las etapas de diseño, manufactura e implementación en campo de la solución, para finalmente darle un seguimiento por determinado tiempo y tener la certeza de que la solución satisface plenamente el requerimiento. Como ejemplo puedo citar el proyecto F.46441, nombrado “Servicio de Instalación y mantenimiento de Estranguladores de Fondo tipo Jet para el Activo de Aceite Terciario del Golfo”, en el cual fungí como encargado de coordinar las necesidades de instalación estranguladores de fondo en los pozos de aceite, supervisando desde el diseño del diámetro óptimo del estrangulador, su fabricación y las pruebas en laboratorios del IMP, hasta su instalación en diferentes pozos del Activo de Aceite Terciario del Golfo, dando seguimiento de esta tecnología por más de seis meses.

También dentro del puesto como Ingeniero de desarrollo, realizo las siguientes funciones:

- Desarrollo tecnológico de sistemas y herramientas para la adquisición de información técnica de pozos e instalaciones y análisis de sistemas electro-mecánicos para operaciones de pozos e instalaciones, de las áreas de Pemex.
- Desarrollo y diseño de sistemas o herramientas asistido por computadora manejando el software especializado.

- Verifico la fabricación de herramientas, dispositivos, accesorios necesarios para Pemex, de acuerdo a metodologías y normas de diseño, establecidas en las especificaciones de producto en el Procedimiento de Exploración y Producción, línea de productos de Sistemas y Herramientas para la adquisición y procesamiento de información de pozos e instalaciones.
- Planeo, realizo y evalúo pruebas de laboratorio a condiciones reales de operación que permitan asegurar la operatividad de los sistemas y herramientas desarrollados.
- Realizo ingeniería en operaciones de campo, de la especialidad de sistemas y herramientas electromecánicas para operaciones de pozos e instalaciones, de las áreas de Pemex
- Me aseguro de la operación en campo de los sistemas y herramientas, basado en el conocimiento, habilidad y especialización, de acuerdo al programa operativo diseñado.
- Evalúo y doy seguimiento de los sistemas desarrollados en el IMP o por terceros.
- Elaboro metodologías y procedimientos para operaciones a intervenciones a pozos.
- Identifico nuevas necesidades y elaboro propuestas de solución a problemas específicos para dirigir los desarrollos tecnológicos futuros.

CAPÍTULO III

III.1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.

Por solicitud de la subgerencia de Servicio a Pozos, División Marina de Pemex, se solicita al grupo SHAIIP el rediseño, análisis y fabricación de 10 cajas para transportar moto generadores marca Lister Peter, debido a que actualmente se presenta la problemática que, la gran mayoría de las cajas empleadas para transportar los generadores ya han rebasado su vida útil, presentándose en estas picaduras y corrosión en zonas críticas de carga (en especial los elementos usados durante el izaje), improvisando el reemplazo de dichos elementos por otros de características geométricas y en material diferentes a las originales, disminuyendo la confiabilidad en su operación y poniendo en riesgo tanto el bien físico, como la vida de los operadores que transportan y manipulan los contenedores en las plataformas. Así mismo, estos modelos de cajas presentan filtración de agua dentro de su interior, poca ventilación durante la operación del generador, lo que provoca que este trabaje con bajo temperaturas mayores a la de operación y ocupando un mayor espacio durante su operación, provocando disminución en el área de trabajo aumentando el factor de riesgo del personal.

III.2 OBJETIVO Y ALCANCES.

Rediseñar y manufacturar 10 cajas para proteger y transportar moto-generadores modelo Lister Peter HLS-24, en el menor tiempo de entrega posible y con el máximo ahorro en el costo de fabricación, sin sacrificar la seguridad y la correcta operación de dichas cajas con base a los requerimientos solicitados en el levantamiento de campo.

III.3 MÉTODO Y SU APLICACIÓN.

Para dar solución de la problemática existente, apliqué la metodología establecida por el proceso de diseño (ver Figura 3.1) con una descripción de los pasos que contiene.

➤ Levantamiento en Campo.

Consiste en acudir a instalaciones del cliente para recopilar información sobre la necesidad a resolver, es decir conocer el sistema físico, las condiciones de trabajo, condiciones de carga, los ciclos de operación, recabar la mayor información técnica ya sea en videos o fotografías, efectuar el dimensionamiento geométrico, así como las experiencias del personal operativo para la correcta definición y delimitación del problema.

➤ Diseño Conceptual.

Consiste en hacer uso de la información recopilada para definir las variables de entrada y salida con el fin de generar un croquis, el cual tiene como objetivo comunicar la idea de lo que será la solución del problema, este contiene la información suficiente para permitir la elaboración de un modelo de ingeniería con fines de diseño y análisis. Esto incluye

información dimensional aproximada, algunas hipótesis sobre materiales y otros datos involucrados en el funcionamiento y que podrían ser necesarios para un análisis posterior. Para la realización de esta etapa se hace uso de software CAD (Diseño Asistido por Computadora) como Mechanical Desktop.

➤ **Diseño a Detalle.**

Con base en el modelo conceptual propuesto se realiza el análisis de esfuerzos, el cual incluirá un modelo de cargas constituido por diagramas de cuerpo libre que muestren todas las fuerzas, momentos y pares de torsión que actúan sobre los elementos del sistema, así como las ecuaciones apropiadas para su cálculo. El resultado de este análisis es obtener el Factor de Seguridad para garantizar que el sistema soporta las condiciones de trabajo a la que será sometido.

En esta etapa, se hace uso del modelo generado en CAD para importarlo a software especializado CAE (Ingeniería Asistida por Computadora) como Cosmos Design Star, para generar escenarios virtuales donde dicho modelo será sometido a diferentes condiciones de cargas.

Una vez obtenido un modelo virtual que cubra todos los parámetros de diseño y cumpla con la norma API-6A se procede a elaborar los planos de detalle.

➤ **Fabricación.**

Con los planos de fabricación se procede a generar una licitación para la cotización y fabricación del modelo con todos los insumos requeridos.

Con el proveedor seleccionado, se procede a la supervisión de la fabricación del producto, para ello se hace uso del equipo y maquinaria necesaria, operada por personal técnico calificado. Durante la fabricación se efectúan diversas pruebas, las cuales pueden consistir desde la medición de tolerancias geométricas, acabados superficiales, pruebas no destructivas, etcétera, según lo estipulen las normas aplicables. Esto con la finalidad de garantizar la confiabilidad del producto.

➤ **Entrega.**

Para efectuar la entrega del producto se acuerda con el cliente el lugar, fecha y equipo necesario para la manipulación y transporte.

En conjunto con el cliente se efectúa la validación del producto en condiciones reales de operación, en donde se supervisará y realizará una bitácora del funcionamiento del producto con la finalidad de tener una retroalimentación para la mejora del producto.

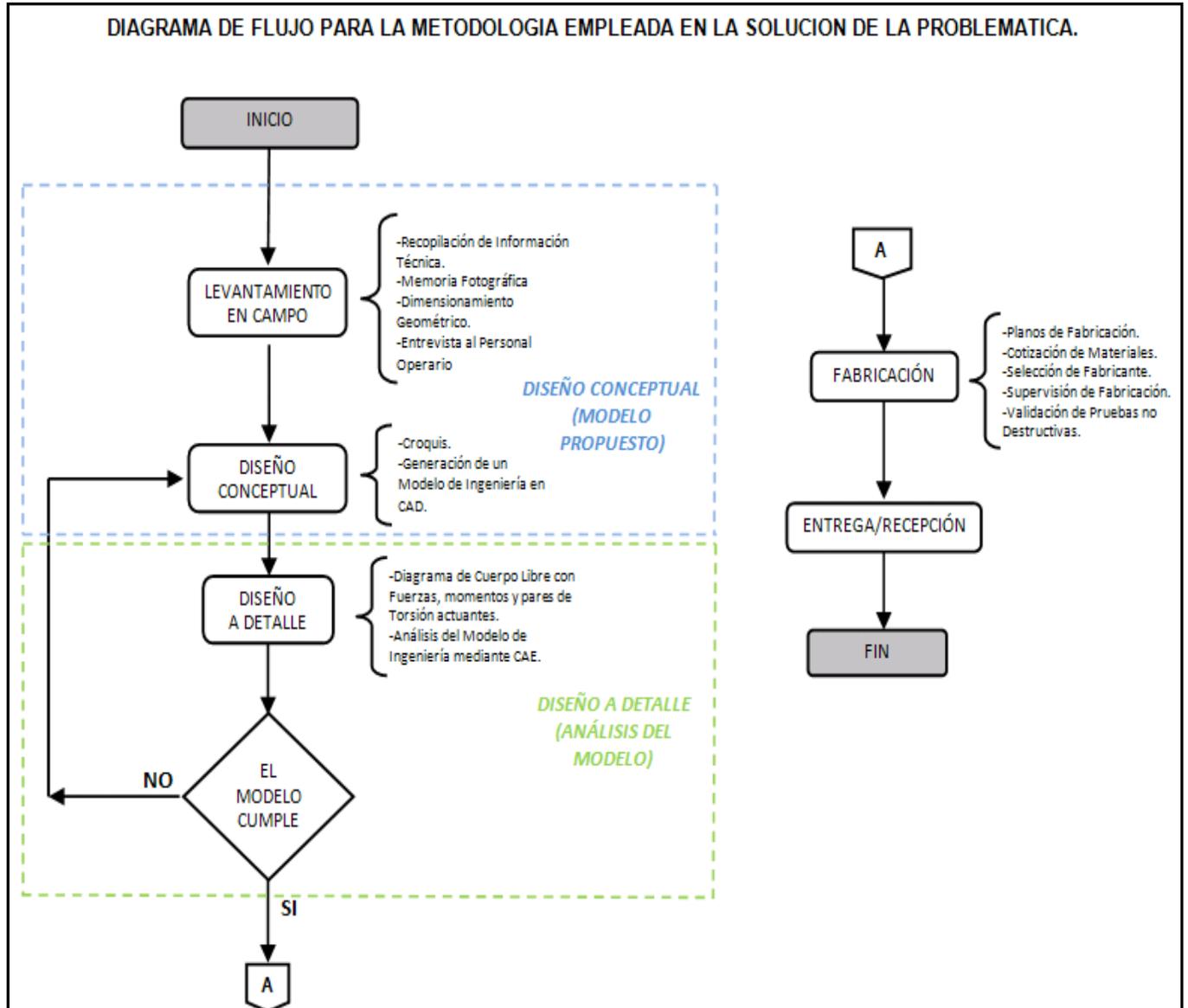


Figura 3.1. Metodología empleada para la solución de la problemática.

Con base al método descrito anteriormente, realicé los siguientes pasos:

III.3.1 LEVANTAMIENTO EN CAMPO

Acudí a las instalaciones de Pemex Exploración y Producción para efectuar el dimensionamiento geométrico general de la estructura usada (calibre de las láminas, perfiles tubulares rectangulares, etc.). A continuación se presenta la memoria fotográfica (Figura 3.2 a la Figura 3.4) de la estructura para proteger el moto-generador propiedad de la compañía Schlumberger (SLB), así mismo reporto las observaciones vertidas tanto por los operadores de este equipo como los encargados de transportarlo.

➤ *Memoria Fotográfica.*





Figura 3.3. Las puertas superiores son de placa antiderrapante de 1/4" de espesor, sin tope en la estructura para evitar la entrada de la lluvia; Los cáncamos de izaje originales fueron cambiados por otros con un espesor de 3/4".



Figura 3.4. La estructura no se encuentra totalmente cerrada, exponiendo a la intemperie parte del Generador, también no cuenta con puertas laterales, dificultando la ventilación del motor del generador. Personal operario recomendó emplear el mismo sistema de amortiguación.

➤ *Entrevista con el personal operario.*

Al realizar la entrevista con personal operario del Generador y del personal que se encarga de transportarlo, me fue descrita la función y la importancia del generador así como de las condiciones de trabajo que deberá tener la estructura que lo protegerá durante la vida útil de éste, dichas consideraciones las vierto a continuación:

La caja para Generador Lister deberá servir para proteger el Moto Generador Lister Peter, durante su traslado a las plataformas marinas, pasando por el siguiente recorrido:

- De la Base Operativa de Servicio a Pozos ubicada en PEMEX Exploración y Producción, Km 4+500, Av. Isla de Tris #26, viaja con destino al Muelle para ser enviado a la plataforma correspondiente. Este traslado se efectúa en un tráiler y se llevan a cabo maniobras con grúa para subirlo de su ubicación en la base, a la plancha del tráiler.
- A su llegada al muelle se desarrollan maniobras de izaje para ubicarlo en el patio de embarque.
- Traslado del patio de embarque a la plancha del barco que lo llevará a la plataforma destino.
- A la llegada a la plataforma se efectúa el izaje para subirla de la plancha del barco al patio de maniobras de la plataforma donde estará en espera a su operación.
- Traslado del patio de maniobras al área de trabajo.
- Al término de los trabajos la caja para generador Lister realizará el mismo recorrido de regreso, o posiblemente hacia otra plataforma.

Durante todo el recorrido está la posibilidad de sufrir golpes debido a las maniobras llevadas a cabo, sobre todo en el barco debido al oleaje. Además, la estructura estará sometida a condiciones ambientales de alta humedad, temperaturas ambientales de 40°C a 45°C, lluvia constante y ambiente corrosivo.

➤ *Recopilación de Información técnica.*

Posteriormente al levantamiento en campo y de realizar la entrevista al personal operario, procedí a la recolección de información técnica referente al generador Lister Peter modelo HLS 24 de planta acústica, la cual se muestra en la Figura 3.5.

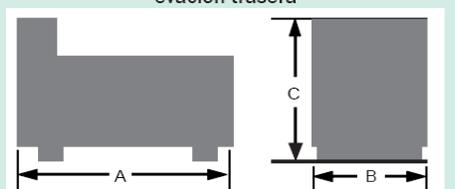
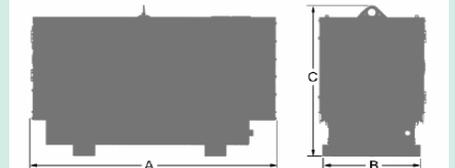
Dimensiones y peso aproximados						
Modelo de planta abierta:		HSL 8	HSL 15	HSL 24		
Plantas abiertas: elevación lateral (izquierda); elevación trasera 	Peso seco	kg	358	428	518	
		lb	789	943	1142	
	Largo (A)	mm	1442	1442	1442	
		Pulg	56.8	56.8	56.8	
	Ancho (B)	mm	715	715	715	
		Pulg	28.1	28.1	28.1	
	Alto (C)	mm	1020	1020	1020	
		Pulg	40.2	40.2	40.2	
Modelo de planta acústica:		HSL 8A	HSL 15A	HSL 24A		
Plantas abiertas: elevación lateral (izquierda); elevación trasera 	Peso seco	kg	555	625	715	
		lb	1224	1378	1576	
	Largo (A)	mm	1693	1693	1693	
		Pulg	66.6	66.6	66.6	
	Ancho (B)	mm	743	743	743	
		Pulg	29.2	29.2	29.2	
	Alto (C)	mm	1143	1143	1143	
		Pulg	45.0	45.0	45.0	

Figura 3.5. Hoja de datos técnicos de la planta eléctrica enfriada por aire modelo HSL 24 planta acústica.

➤ *Dimensionamiento Geométrico.*

Realicé el dimensionamiento geométrico de la caja que se ocupa actualmente, el cual se muestra en la Figura 3.6.

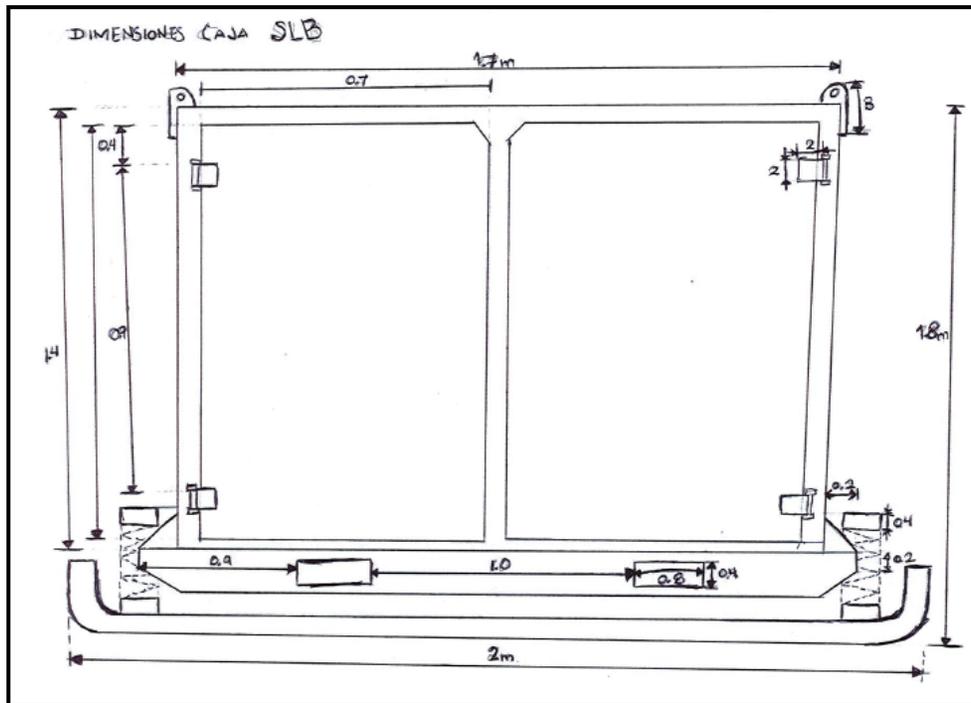


Figura 3.6. Croquis a mano alzada de la caja de generador de la compañía SLB.

III.3.2 DISEÑO CONCEPTUAL

Para la realización del diseño conceptual, procedí a definir los parámetros de entrada y salida del diseño de la estructura, esto permitirá establecer las características de forma global de la estructura y permitirá describir las especificaciones de los componentes principales, mostrando la definición de dichos parámetros de la siguiente manera:

➤ Parámetros de Entrada:

El diseño de la estructura deberá de ser transportable en la plancha de un tráiler, en barcos y plataformas, así como tener la resistencia para soportarse a sí misma y al generador al momento del izaje, absorber en su totalidad los impactos recibidos durante el transporte, evitar la entrada de agua, y permitir una correcta ventilación durante la operación. Además las puertas deben ocupar el menor espacio posible.

➤ Parámetros de Salida:

El diseño deberá tener entrada para montacargas, un sistema de amortiguamiento para impactos, así como elementos resistentes para su izaje, puertas abatibles en las cinco caras de la estructura y perfiles interiores que aíslen de la lluvia la parte interna donde se albergará el generador.

➤ Boceto (Diseño Preliminar)

Una vez definidas las restricciones que debe llevar la estructura, procedí a realizar los bocetos preliminares del diseño, en donde realicé el dimensionamiento de la estructura, y propuse la mejor alternativa para cada una de los parámetros de salida solicitados por los operarios.

En las Figuras 3.7 y 3.8, muestro los croquis a mano alzada de la caja, cabe mencionar que para fines de este trabajo escrito sólo se mostrará el croquis final ya que este proceso es iterativo lo que significa que constantemente requirió de retroalimentación para dar la mejor solución a la problemática.

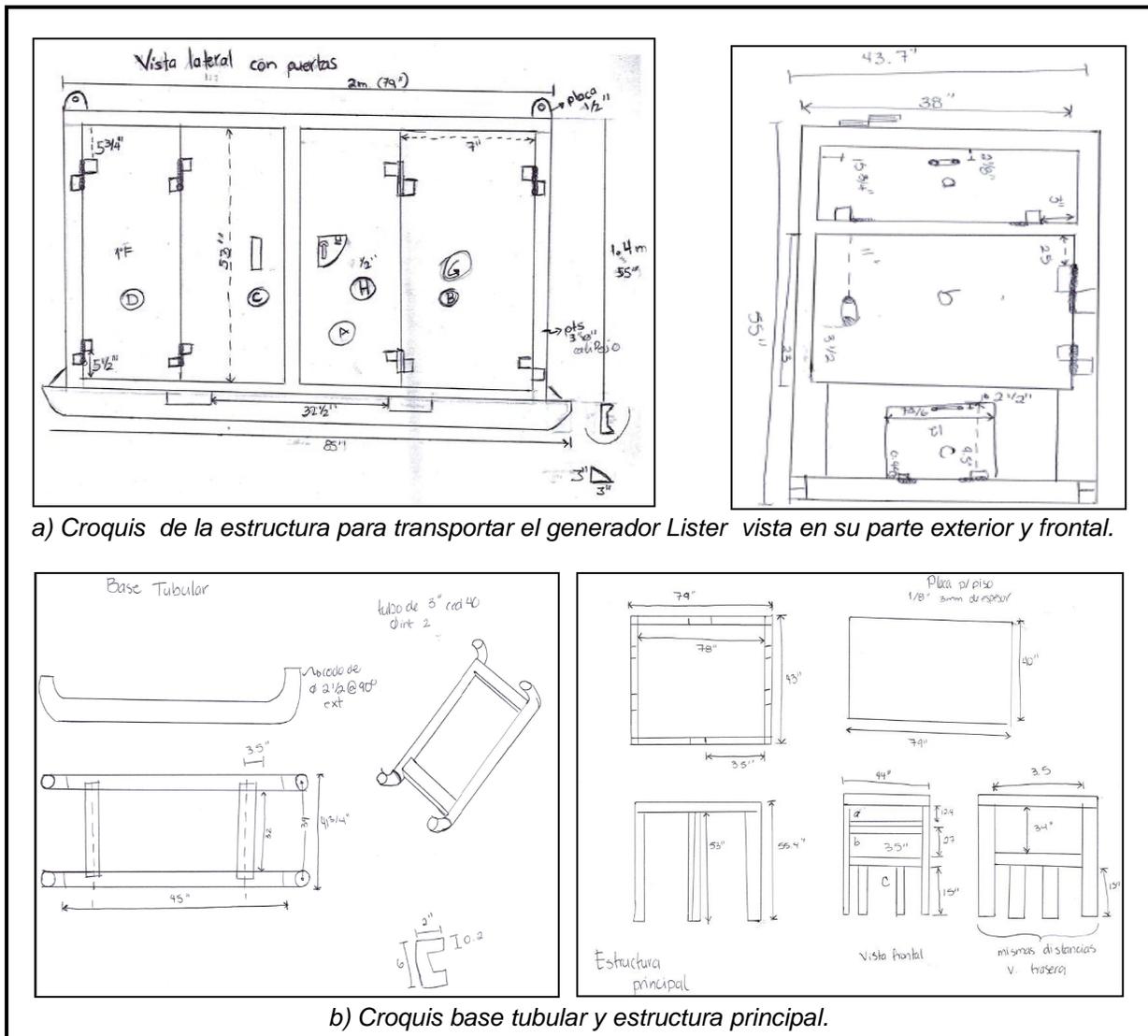


Figura 3.7. Croquis de la estructura para transportar el generador. Detalles en las figuras a y b.

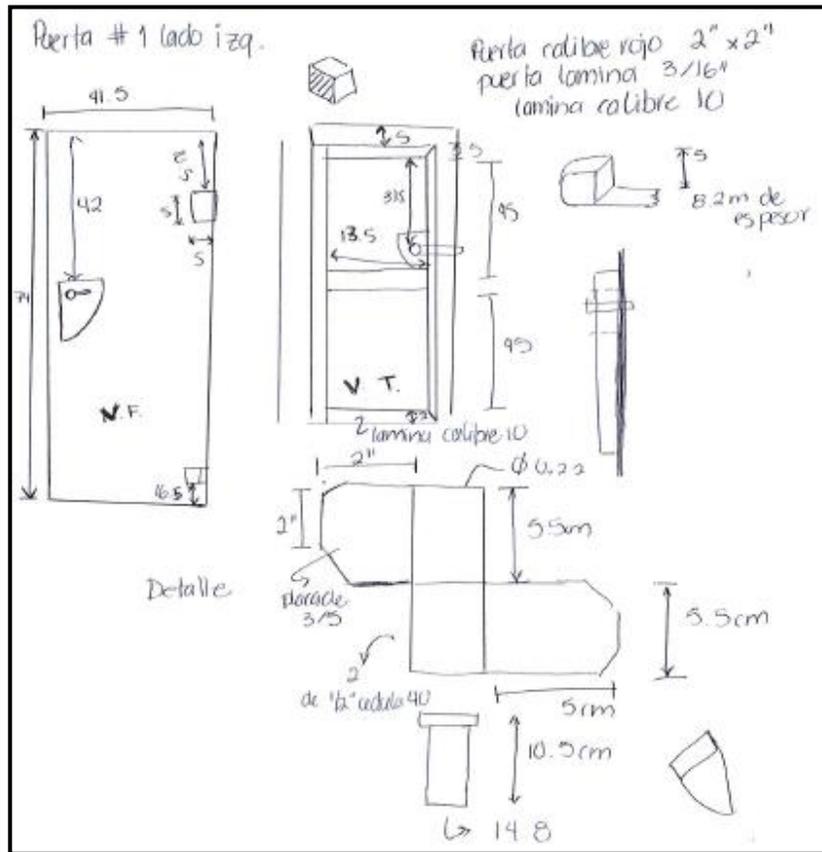


Figura 3.8. Croquis de las puertas abatibles con sus bisagras y pernos de sujeción.

➤ Dibujo de Estructura en CAD

Con todas las consideraciones vertidas en el croquis, procedí a realizar el diseño conceptual de la estructura, dibujando el sólido en el programa Mechanical Desktop de Autodesk, y la cual cumple con los parámetros de salida requeridas, como son: el sistema de amortiguamiento de impacto, los cáncamos de izaje, los perfiles interiores para aislar el agua del interior y el marco principal donde se tendrá la guía de entrada para montacargas, así como, donde se colocaran las puertas abatibles y será el sostén de los sistemas mencionados. El modelo se muestra desde la Figura 3.9 a la Figura 3.13.

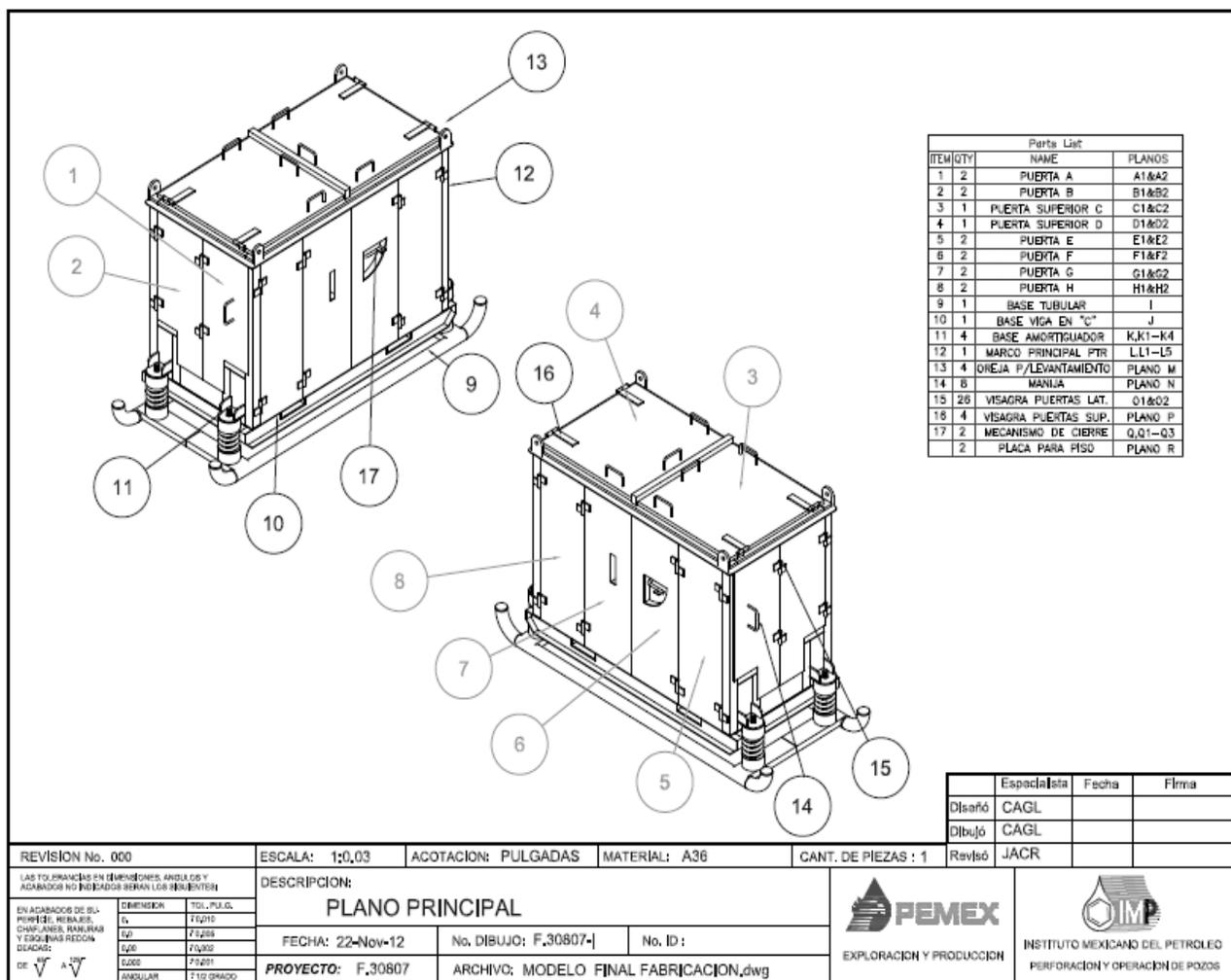


Figura 3.9. Plano del diseño conceptual realizado en Autodesk Mechanical Desktop.

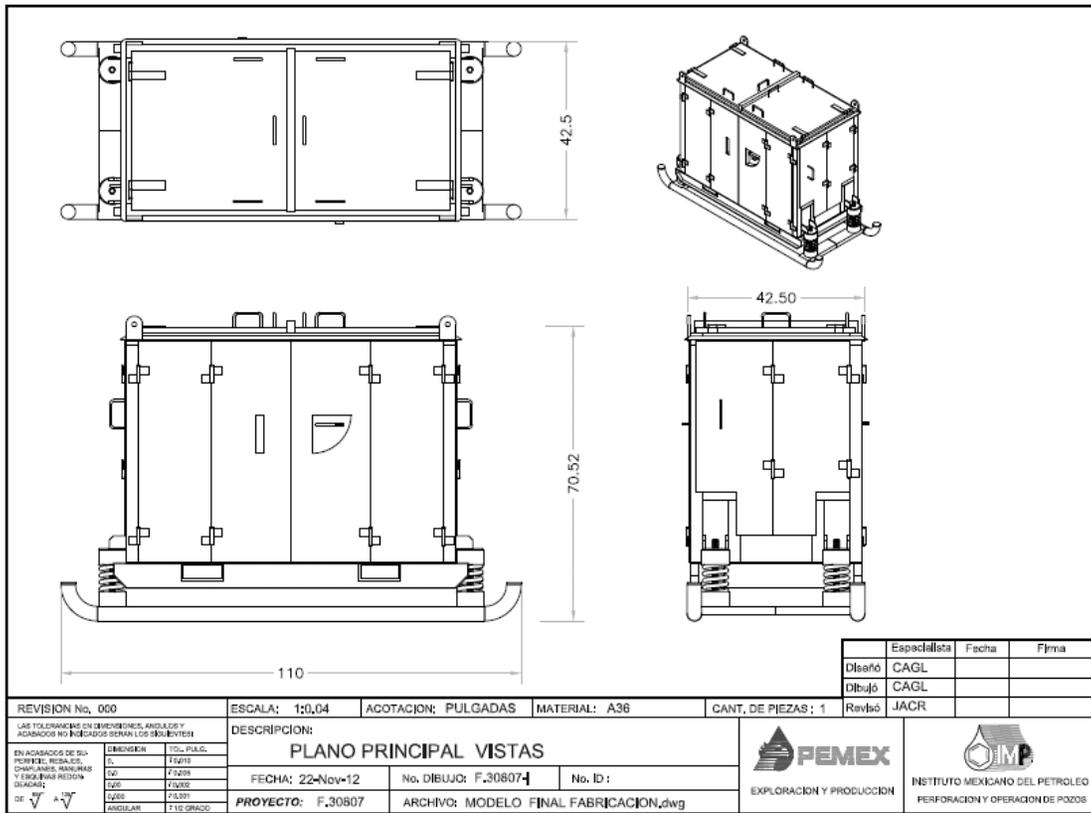


Figura 3.10. Plano de las vistas del diseño conceptual realizado en Autodesk Mechanical Desktop.

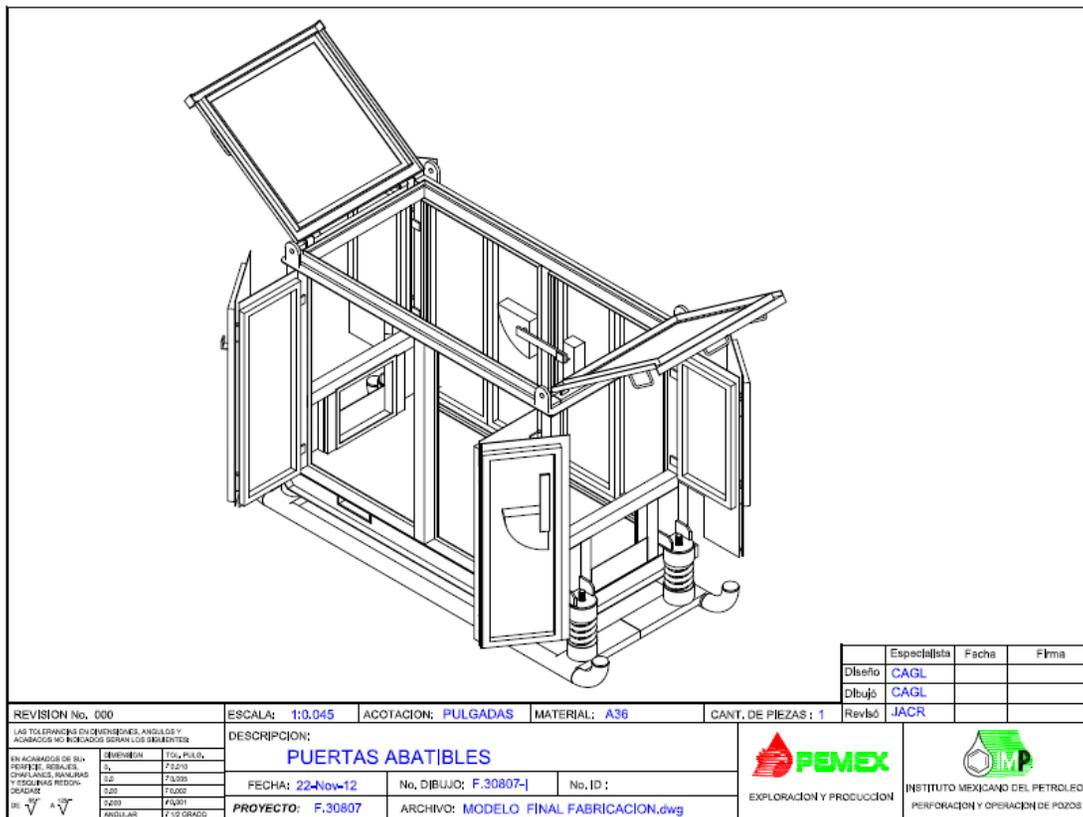


Figura 3.11. Plano del diseño conceptual con sus puertas abatibles (vista isométrica).

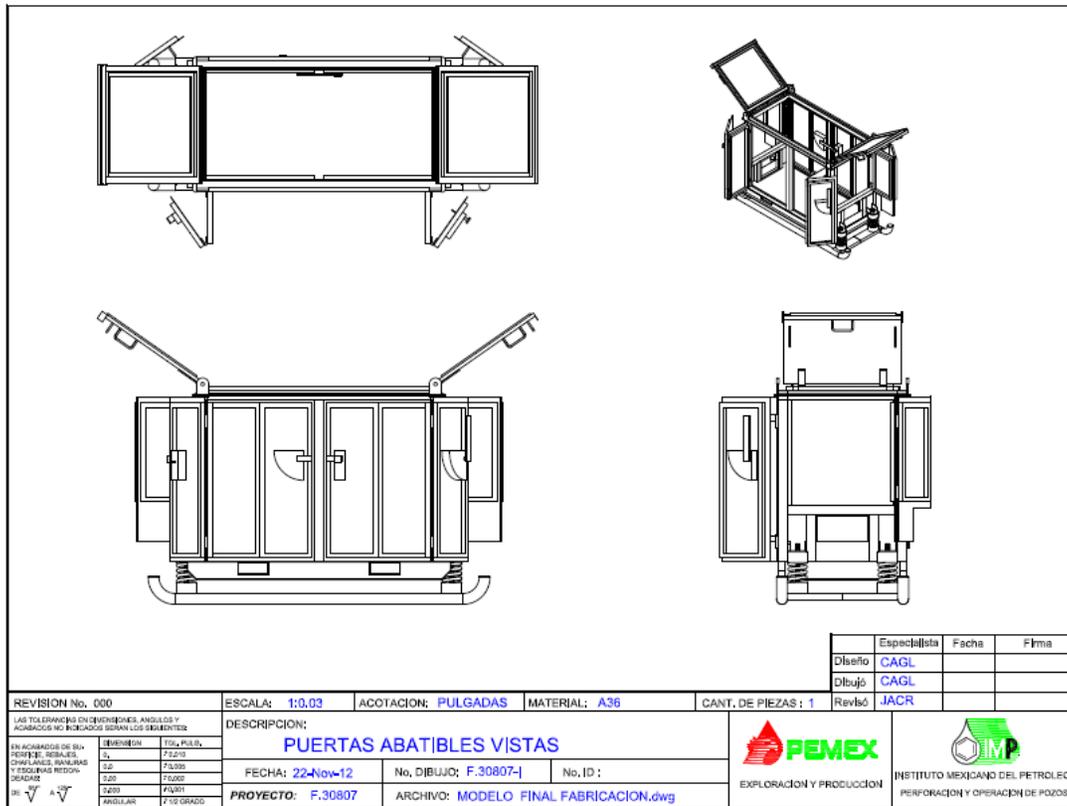


Figura 3.12. Plano de las vistas del diseño conceptual con sus puertas abatibles.

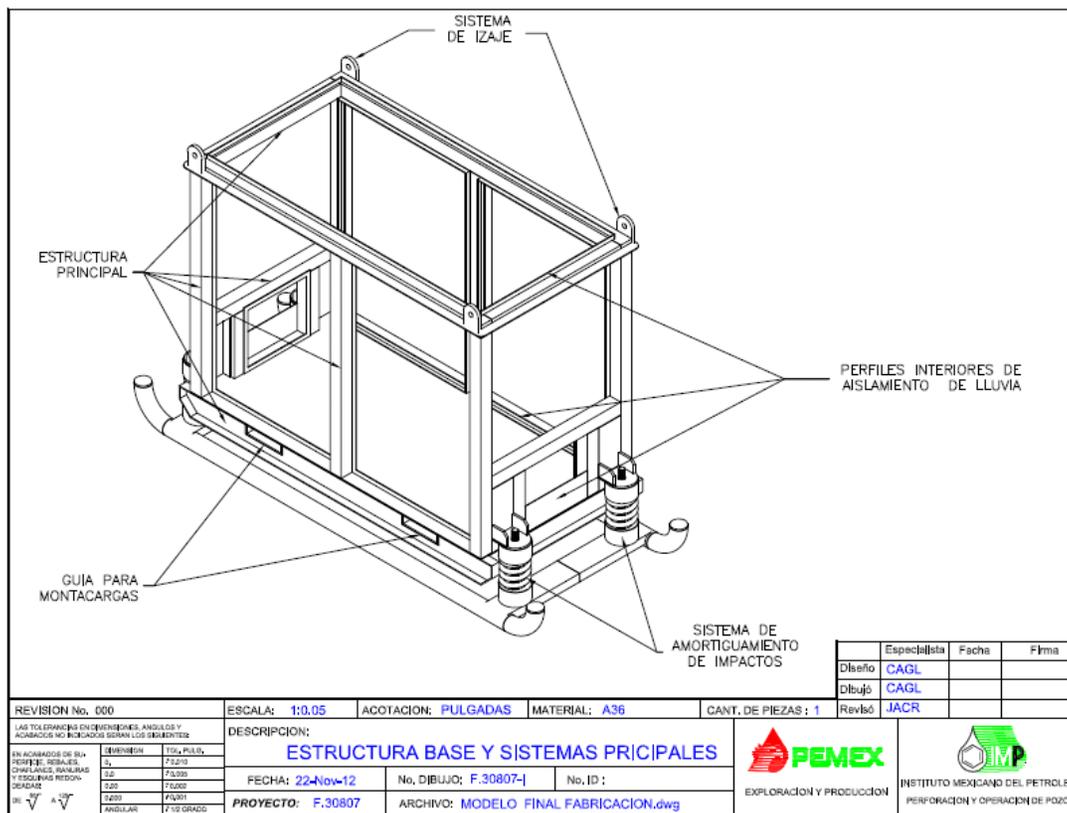


Figura 3.13. Plano de la estructura base y los sistemas principales del diseño conceptual.

III.3.3 DISEÑO A DETALLE

Una vez definidos el modelo conceptual con base de los parámetros de entrada y salida y dibujado el modelo tridimensional en el programa de CAD antes mencionado, procedí a realizar la simulación numérica, tomando en cuenta la información de la carga que ejerce el peso del generador, esto con el fin de aplicar las restricciones y los grados de libertad.

Realicé un análisis de esfuerzos por el **método del elemento finito** (FEA, Finite Element Analysis, por sus siglas en inglés) y el tipo de estudio es de carga estática; Consideré cargas estáticas porque no hay presencia de cargas oscilantes, cargas de impacto considerables ó cargas térmicas dentro del sistema.

El trabajo que se realicé es un análisis genérico de la estructura, centrándose en los elementos estructurales principales; tales como: vigas transversales, perfiles tubulares rectangulares (PTR) perteneciente a la estructura principal, zonas de apoyo y refuerzos.

Así mismo consideré despreciables los fenómenos que ocurren en lugares específicos como: elementos de sujeción (bisagras), puertas superiores y laterales, ya que estos no son elementos críticos durante el transporte del generador, teniéndose como máxima carga de operación el propio peso de cada una de las puertas sobre las bisagras, de igual forma, la geometría de las soldaduras no se considera en este análisis ya que la resistencia mecánica de esta es mayor a la de las piezas unidas. Así mismo, el sistema de amortiguamiento se omite del análisis ya que este absorbe los impactos en un lapso de tiempo muy corto y solo durante el izaje generador.

El análisis proporciona los siguientes resultados:

- Diagrama con distribución de esfuerzos.
- Diagrama de factor de seguridad.

El procedimiento que empleé para realizar el análisis numérico se enlista a continuación:

- Importación del modelo virtual.
- Definición del tipo de estudio a realizar
- Establecimiento de las condiciones de contacto entre los elementos y grados de libertad.
- Establecimiento del tipo de material para el análisis.
- Discretización de los elementos.
- Aplicación de condiciones de carga
- Solución del problema bajo las condiciones de frontera planteadas.
- Graficas de los resultados obtenidos.
- Conclusiones del análisis por elementos finitos.

Se muestra a detalle cada una de los pasos antes listados.

- **Importación del modelo virtual.** El modelo virtual que generé en el programa de CAD es depurado de errores en los elementos, interferencias y separaciones, para después ser importado al programa de FEA (Finite Element Analysis) ver Figura 3.14 y 3.15.

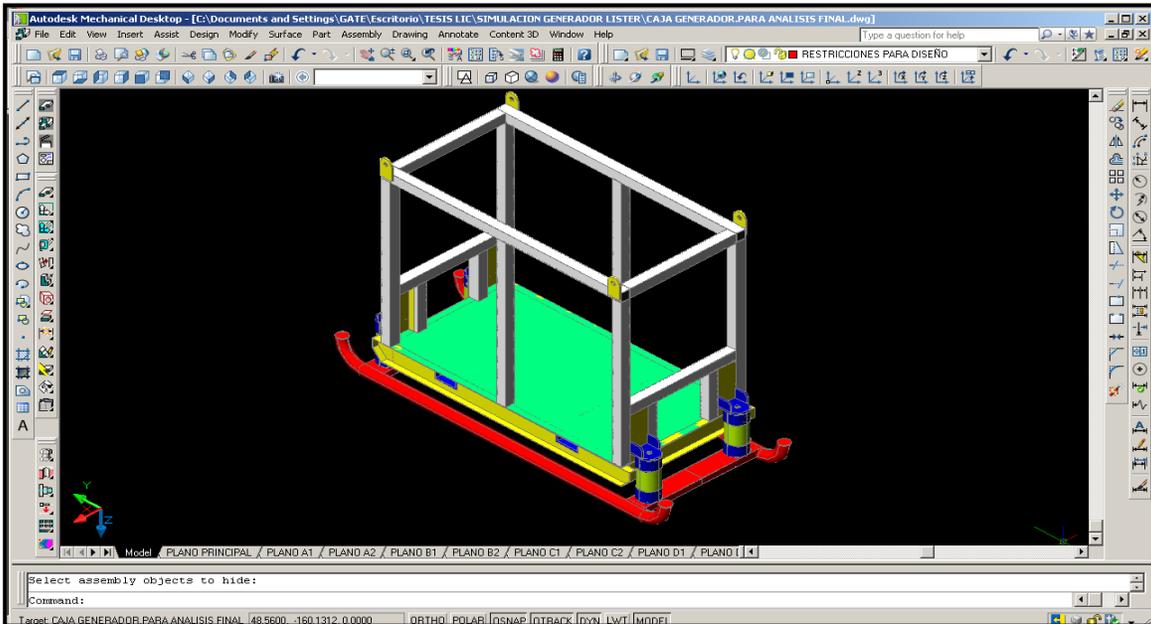


Figura 3.14. Modelo Virtual en el programa de CAD.

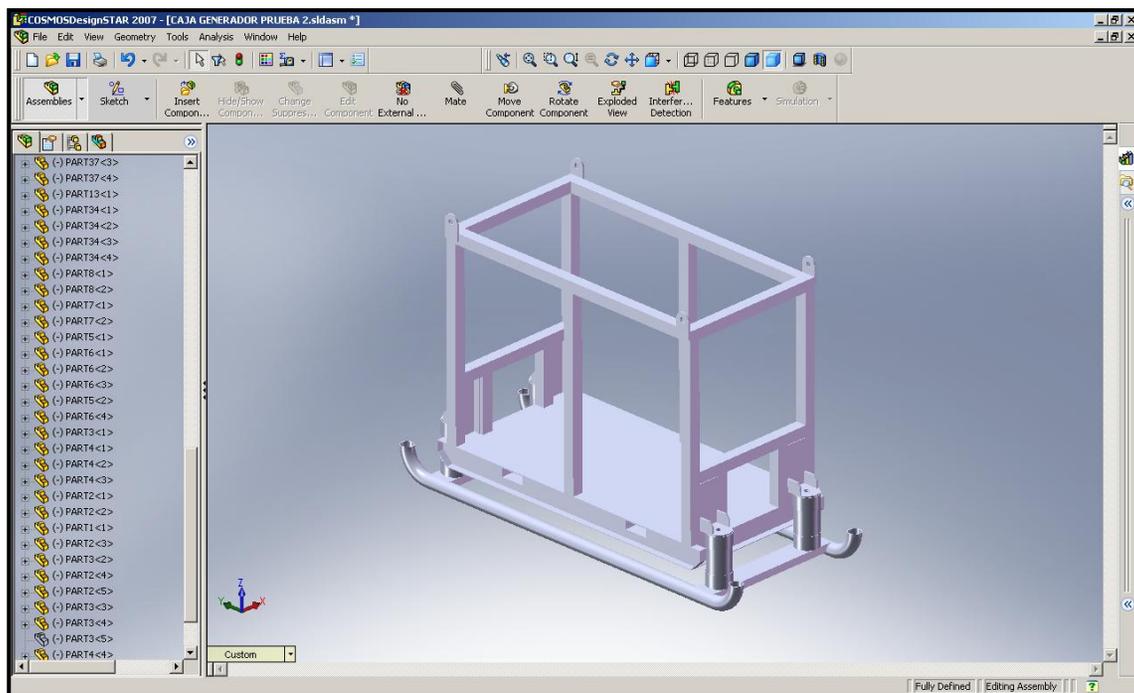


Figura 3.15. Modelo Virtual en el programa de FEA.

El modelo se ha simplificado con la finalidad de acelerar el procesamiento del software de análisis. Como se comentó anteriormente, las adecuaciones no implican modificación alguna al diseño original y no afectarán el resultado final ya que el modelo representa a la estructura principal, la cual soportará el peso del generador y así misma durante el izaje de este. El modelo de análisis queda como se muestra en la figura 3.16.

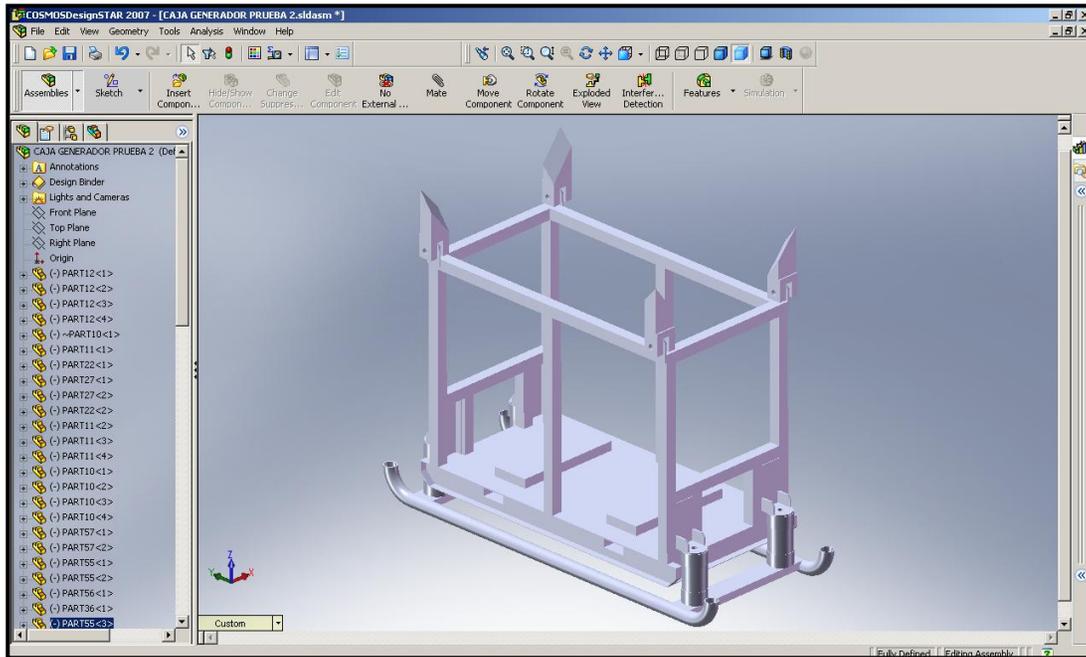


Figura 3.16. Modelo Virtual en el programa de FEA con elementos auxiliares para la simulación.

- **Definición del tipo de estudio a realizar.** Una vez depurados los errores geométricos en el sólido, se selecciona el tipo de análisis a realizar (Figura 3.17).

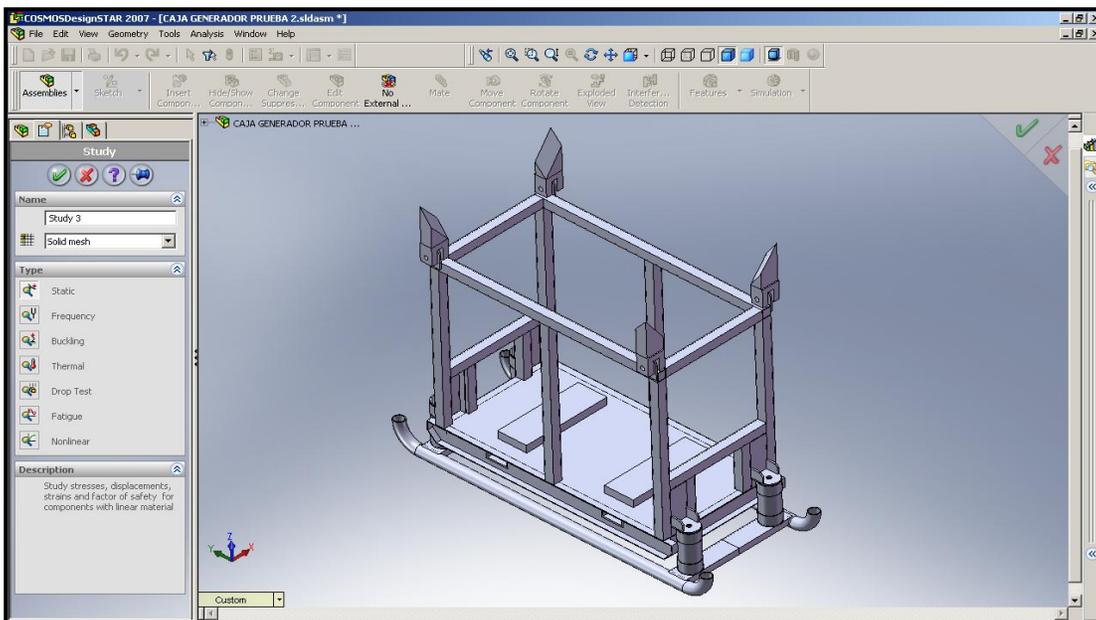


Figura 3.17. Selección del estudio tipo estático.

- **Establecimiento de las condiciones de contacto entre los elementos y grados de libertad.** Con base en un análisis detallado de la interacción entre los elementos, se determinan los tipos de condiciones que tienen: contactos rígidos, articulaciones pernadas y apoyos fijos (Ver Figura 3.18 y 3.19).

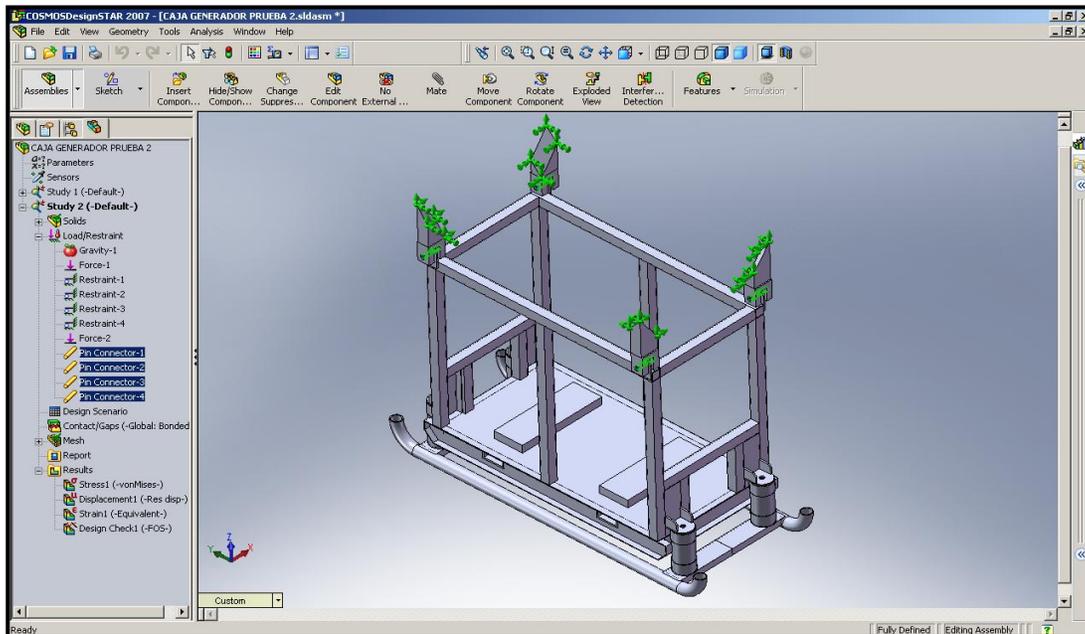


Figura 3.18. Condiciones de contacto tipo perno entre los grilletes de levantamiento y los cáncamos para izaje.

La estructura es fijada en las 4 caras de las piezas diseñadas especialmente para la simulación al levantamiento de la estructura en ángulo de 60° con respecto a la horizontal (plano XZ) y a 45° en dirección al centro de la estructura en el (plano XY). Así mismo, se incluyen los 4 pernos que realizan la unión de los cáncamos con los grilletes para levantamiento.

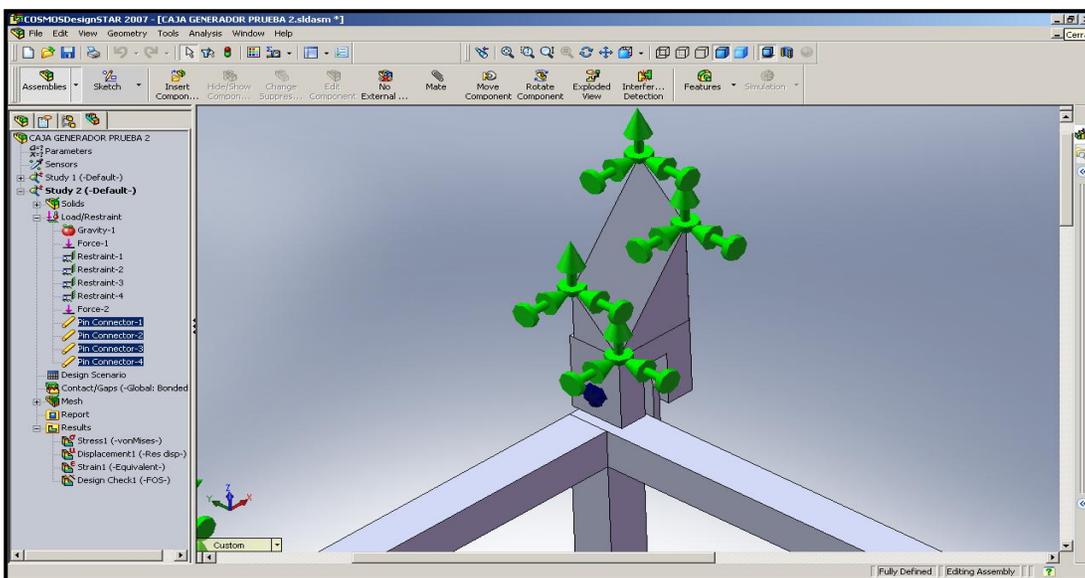
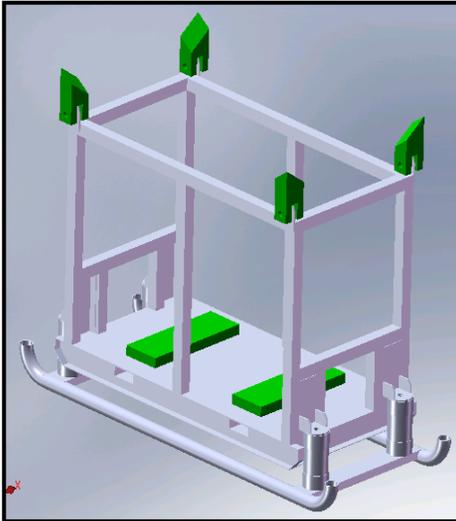


Figura 3.19. Acercamiento a una de las restricciones aplicada para cada una de las orejas de izaje.

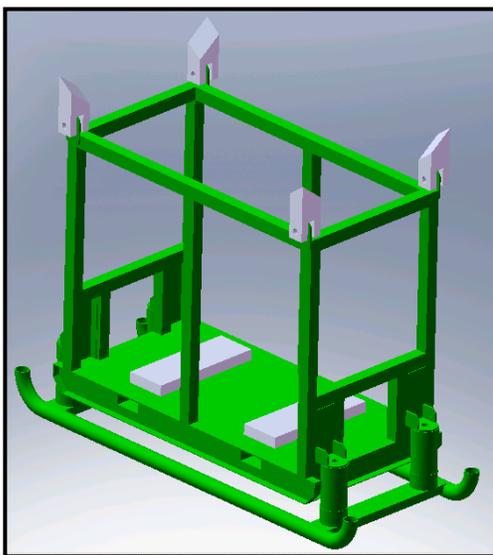
- **Establecimiento del tipo de material para el análisis.** Para la asignación del material, lo efectué en 2 bloques, el primero correspondiente a las orejas de izaje, así como las 2 placas que simulan la base del generador, todos ellos en material de acero al carbono y con propiedades mecánicas mayores al usado en la estructura principal, como se muestra en la figura 3.20.



Property	Description	Value	Units	Temp Dependency
EX	Elastic modulus	30457925	psi	Constant
NUXY	Poisson's ratio	0.28	NA	Constant
GXY	Shear modulus	11457981	psi	Constant
DENS	Mass density	0.2781802	lb/in ³	Constant
SIGXT	Tensile strength	104982.03	psi	Constant
SIGXC	Compressive strength		psi	Constant
SIGYLD	Yield strength	89984.603	psi	Constant
ALPX	Thermal expansion coefficient	7.222222222e-006	/Fahrenheit	Constant
KX	Thermal conductivity	0.000668737506	BTU/(in.s.F)	Constant
C	Specific heat	0.1098901099	Btu/(lb.F)	Constant

Figura 3.20. Asignación del tipo de material para cada una de las orejas de izaje y para la base del generador (color verde), ambas en acero al carbono con las propiedades mecánicas de este.

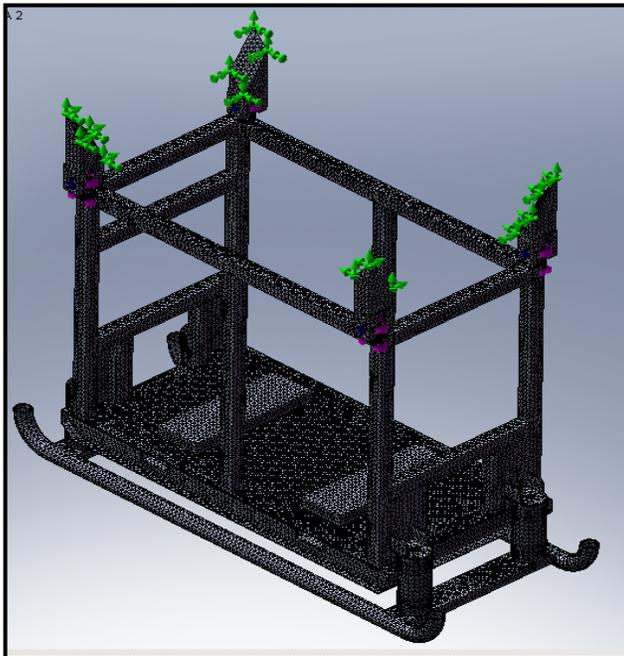
El segundo bloque para la designación de material es correspondiente a la estructura principal, aplicando las propiedades de un acero estructural A36, como se muestra en la figura 3.21.



Property	Description	Value	Units	Temp Dependency
EX	Elastic modulus	29007547.55	psi	Constant
NUXY	Poisson's ratio	0.26	NA	Constant
GXY	Shear modulus	11501492.6	psi	Constant
DENS	Mass density	0.2835992905	lb/in ³	Constant
SIGXT	Tensile strength	58015.09509	psi	Constant
SIGXC	Compressive strength		psi	Constant
SIGYLD	Yield strength	36259.43443	psi	Constant
ALPX	Thermal expansion coefficient		/Fahrenheit	Constant
KX	Thermal conductivity		BTU/(in.s.F)	Constant
C	Specific heat		Btu/(lb.F)	Constant

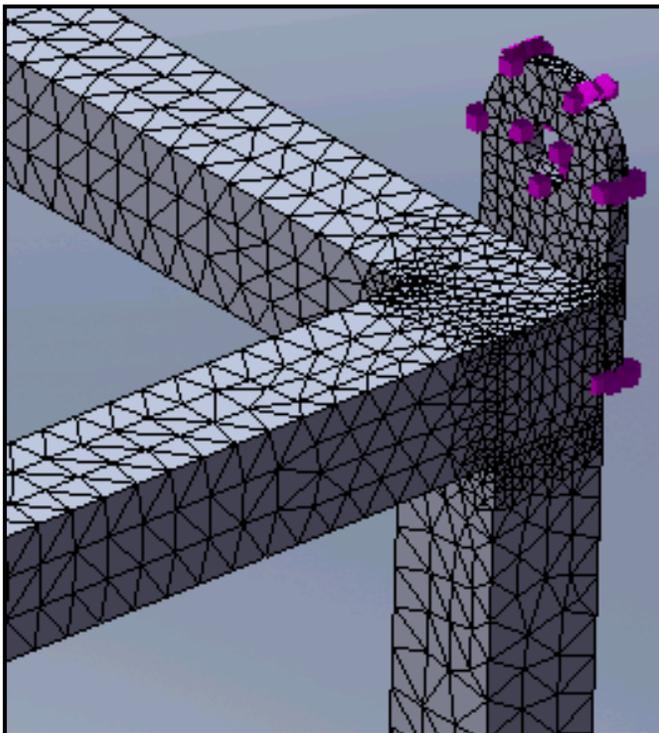
Figura 3.21. Material de Acero Estructural A36 asignado a la estructura principal (color verde), con una tabla de las propiedades mecánicas de dicho acero.

- **Discretización de los Elementos.** Se determinan las dimensiones óptimas de los elementos discretos y se procede a generarlos en el modelo virtual, donde muestro los detalles de la mallada para la estructura principal y para el posterior refinamiento de los elementos críticos (Ver figura 3.22 y 3.23).



DETALLES DE LA MALLA SIN REFINAMIENTO	
Tipo de Elemento	Tetraédico
Tamaño de Elemento	24.218 mm
Calidad de la malla	Alta
Total de nodos	443906
Total de elementos	233296
Transición Automática	Activada

Figura 3.22. Discretización del modelo sin refinamiento de los elementos críticos.



DETALLES DE LA MALLA CON REFINAMIENTO	
Tipo de Elemento	Tetraédico
Tamaño de Elemento Refinado	12 mm
Calidad de la malla	Alta
Total de nodos	447458
Total de elementos	235258
Transición Automática	Activada

Figura 3.23. Acercamiento de la Aplicación de control de mallado en las orejas de izaje.

- **Aplicación de las Condiciones de carga.** Se aplican al modelo la carga a la que será sometido, la cual consiste en el peso del generador más el peso de todas las puertas y bisagras así como la fuerza de gravedad que actúa en la estructura, esto lo presento en la siguiente tabla.

TABLA DE CARGAS APLICADAS		
CARGA	VALOR	UNIDADES
Fuerza normal distribuida en las bases del generador debida a su peso	7063	N
Peso de todas la puertas y accesorios	2500	N
Fuerza de gravedad En la estructura principal	W	N

Así mismo dicha distribución de cargas la presento en el modelo en la figura 3.24.

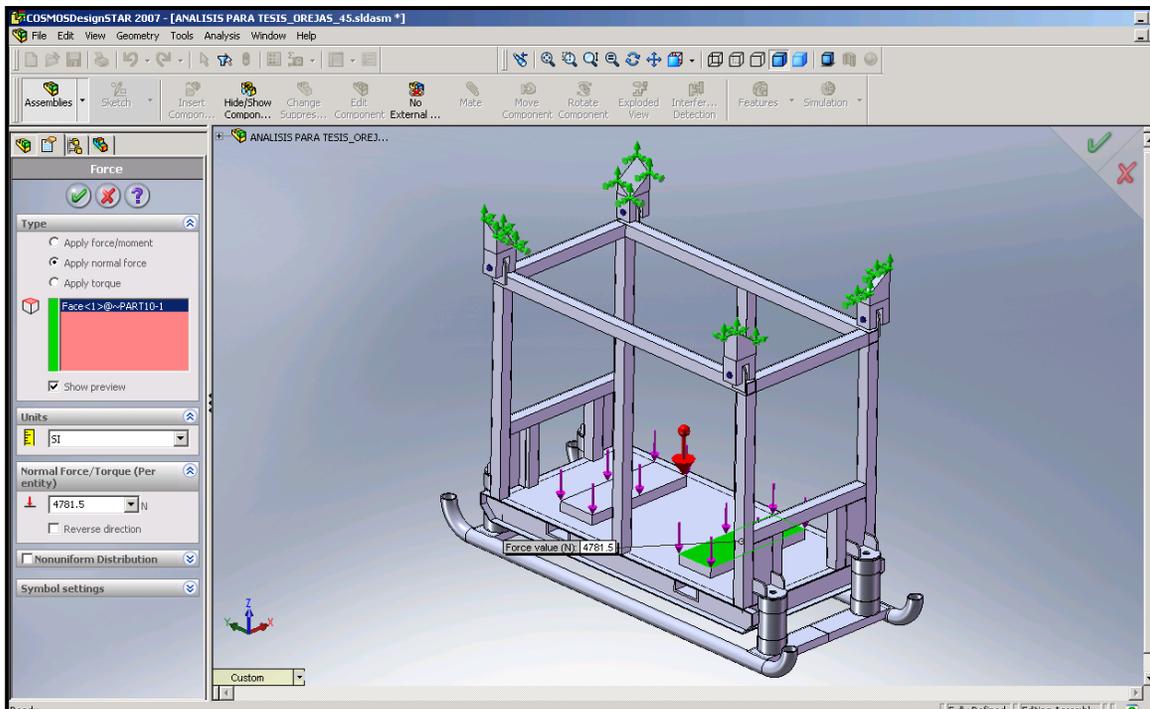


Figura 3.24. Aplicación de Cargas y condiciones de gravedad.

- **Solución del problema bajo las condiciones de frontera planteadas.** Ya planteadas las condiciones de carga, las restricciones y contactos así como realizado la discretización del modelo, se inicia el proceso de análisis numérico (Ver Figura 3.25).

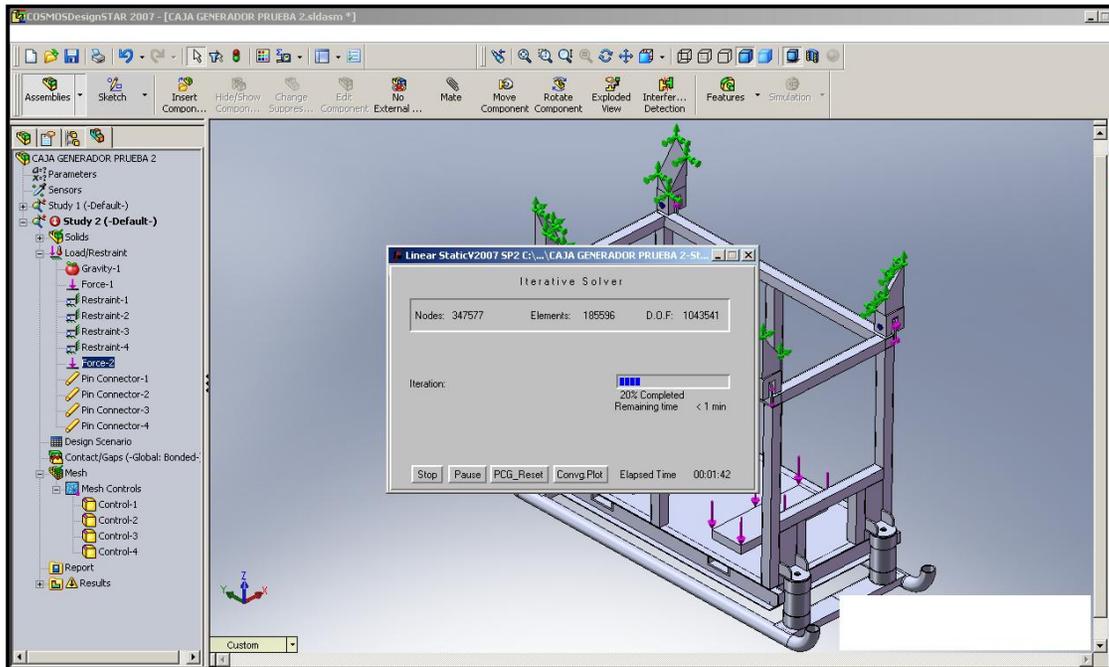


Figura 3.25. Solución de la simulación.

- **Graficas de los resultados obtenidos.** Una vez solucionado el modelo se selecciona el estudio que se requiere para su interpretación (Ver Figura 3.26 a 3.31).

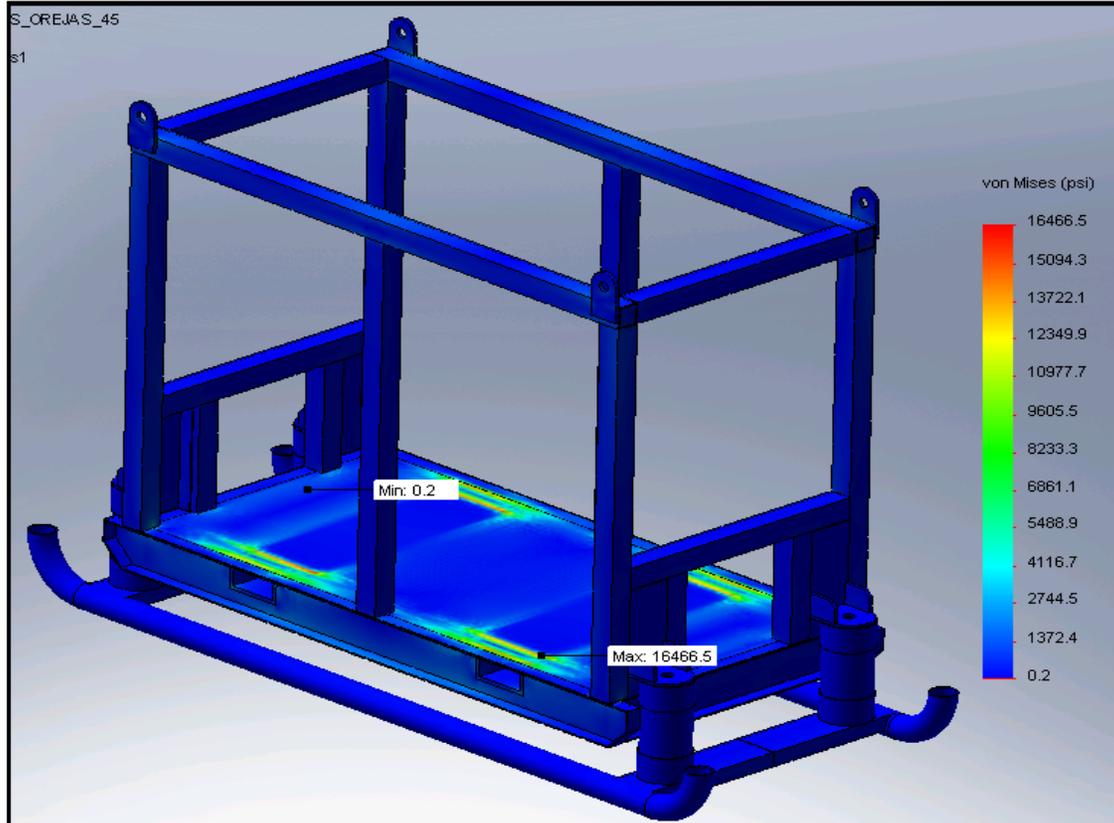


Figura 3.26. Mapa de Distribución de esfuerzos en la estructura.

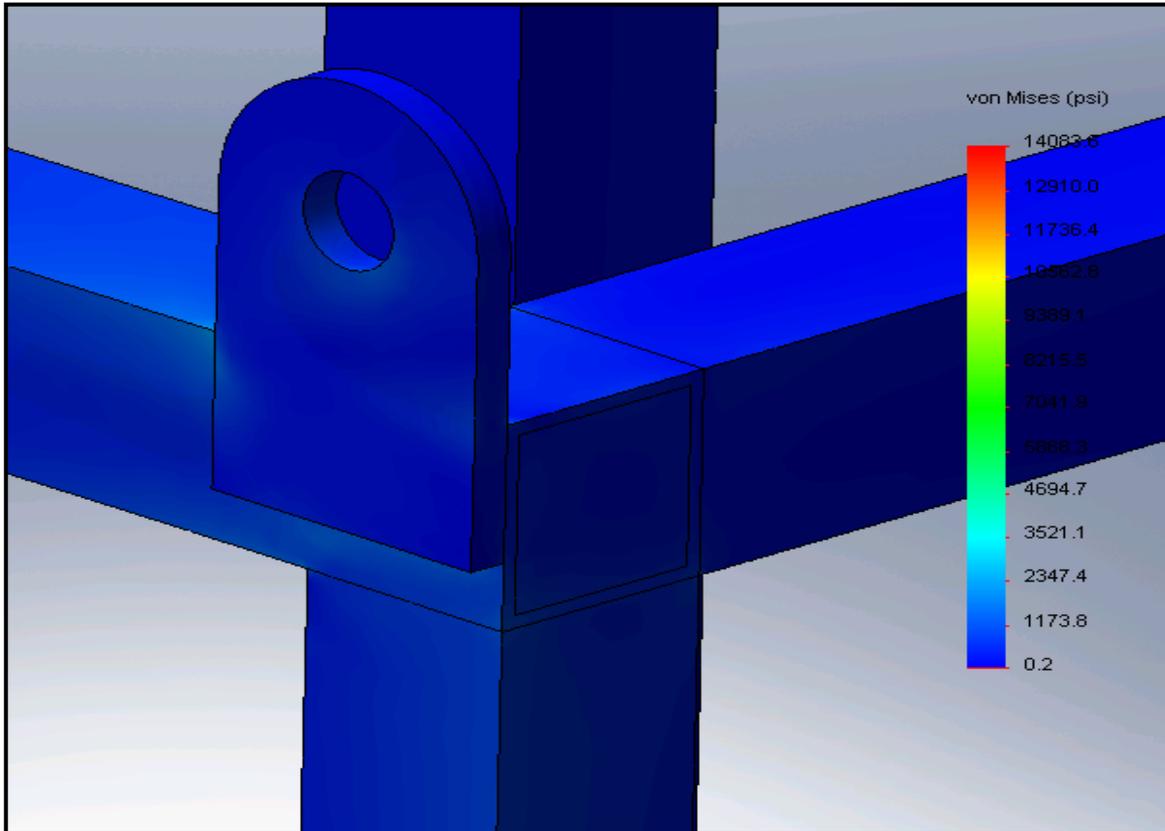


Figura 3.27. Mapa de Distribución de esfuerzos en el cáncamo para levantamiento, vista exterior.

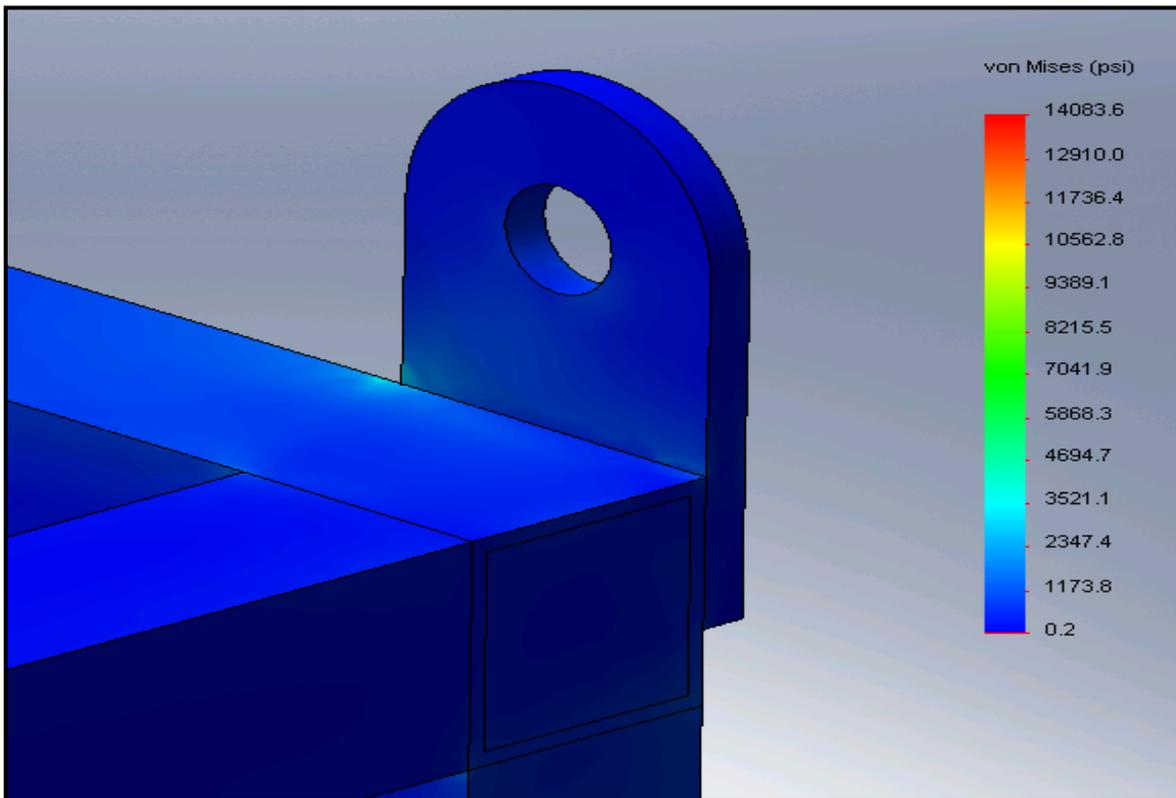


Figura 3.28. Mapa de Distribución de esfuerzos en el cáncamo para levantamiento vista interior.

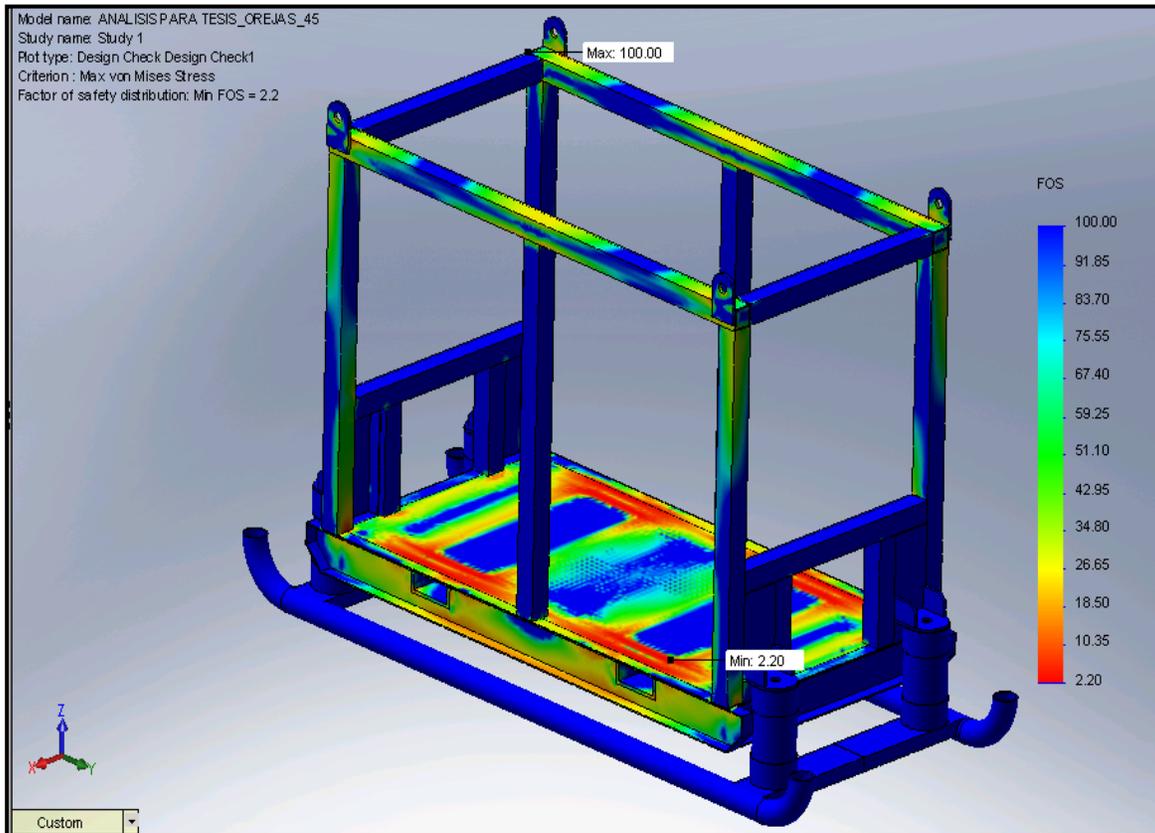


Figura 3.29. Mapa de Distribución del Factor de Seguridad en toda la estructura

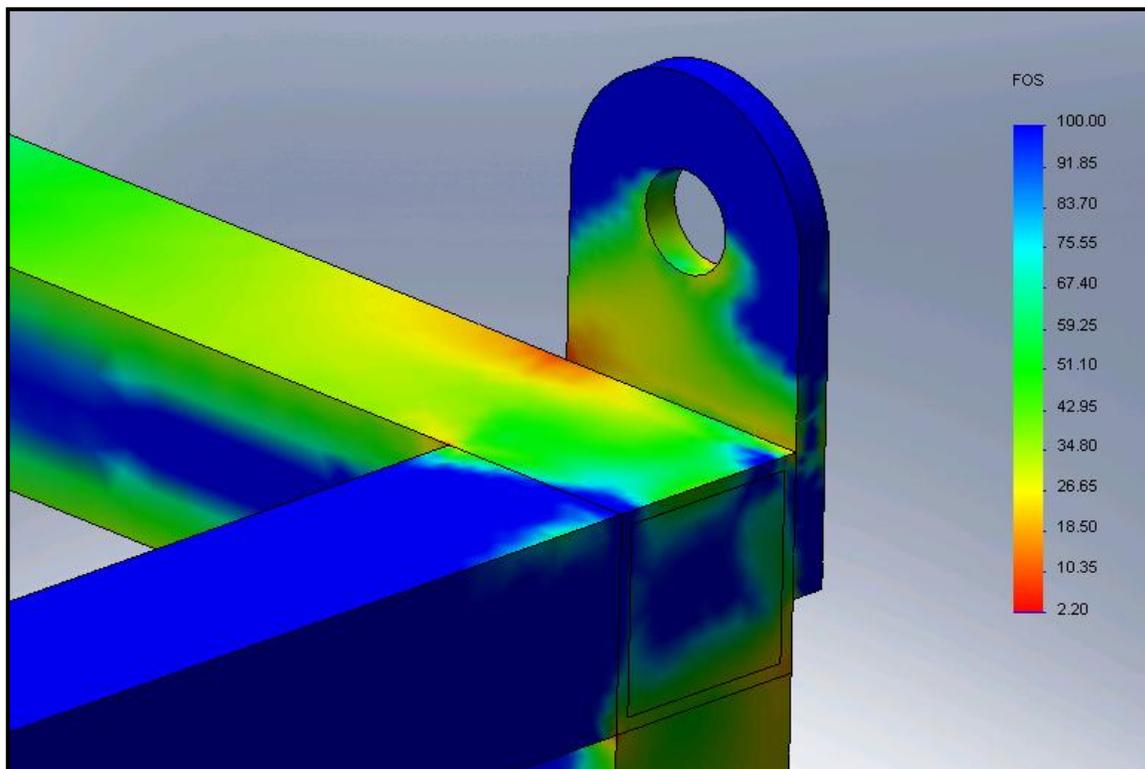


Figura 3.30. Mapa de Distribución del Factor de Seguridad en el cáncamo para levantamiento vista interior.

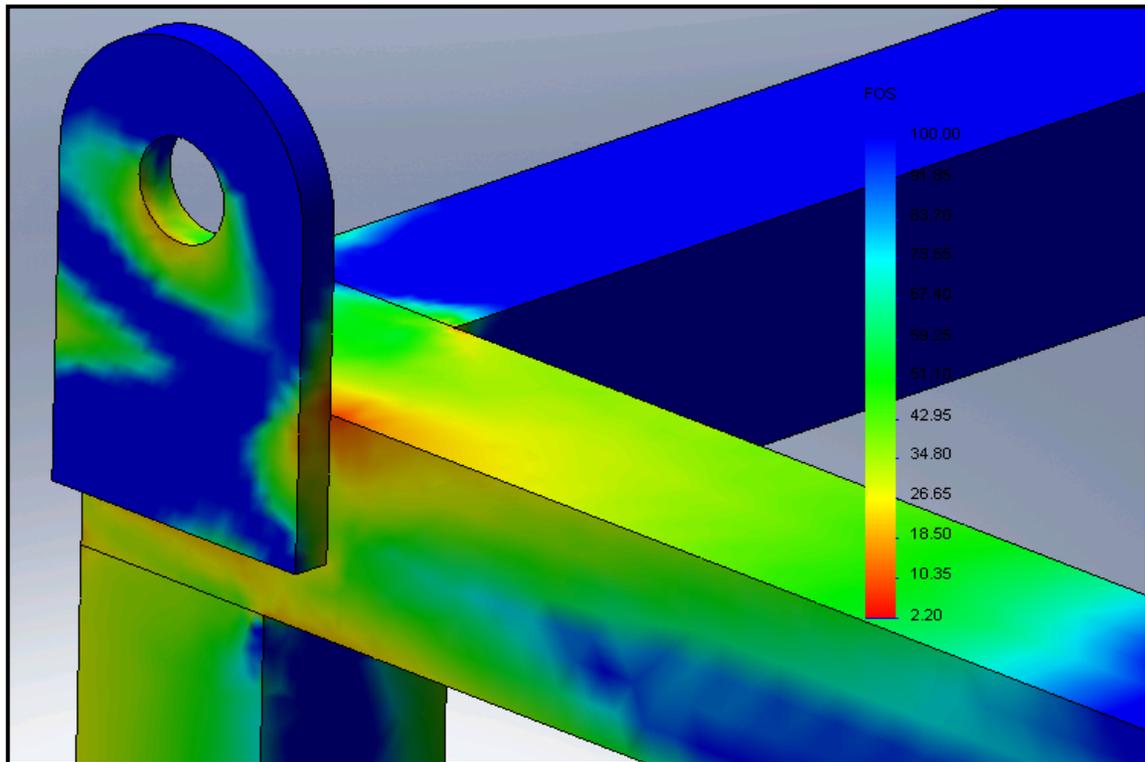


Figura 3.31. Mapa de Distribución del Factor de Seguridad en el cáncamo para levantamiento vista exterior.

➤ **Conclusiones del Análisis por Elementos Finitos.**

Se observa que el esfuerzo máximo se presenta en los puntos medios en la placa de la base de la estructura donde se apoya el generador (Figura 3.26), soportando dichos esfuerzos en la unión con la estructura de viga en “c”, los cuales están sometidos a un valor máximo de 16466 psi. Dado que el material soporta 36,000 psi, tenemos un valor del factor de seguridad en la estructura con un mínimo de 2.2, sin embargo, dicho valor es puntual debido al área en donde se aplico la fuerza, por lo que se requiere de un análisis más detallado de los esfuerzos en la zona de interés así como de las orejas de izaje, las cuales muestro en las figuras 3.32 a la figura 3.43).

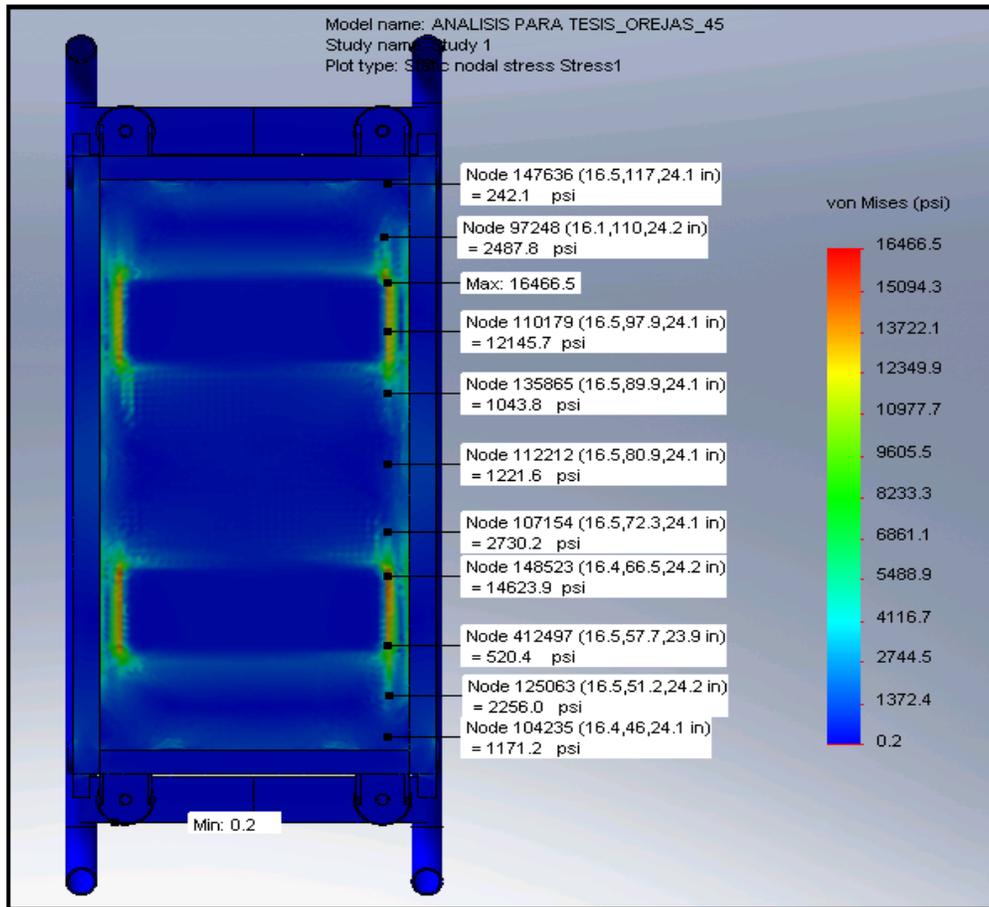


Figura 3.32. Muestreo de esfuerzos en la base de la estructura (Vista Superior)

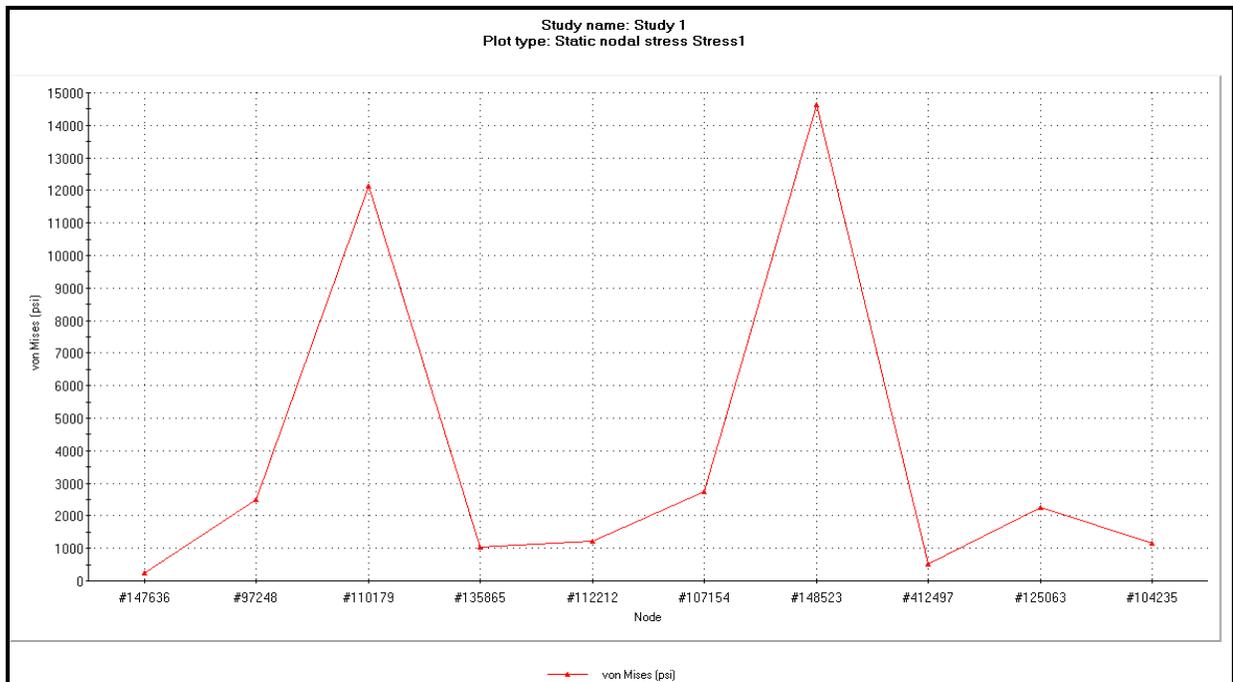


Figura 3.33. Gráfica correspondiente al muestreo de esfuerzos en la base de la estructura (Vista Superior)

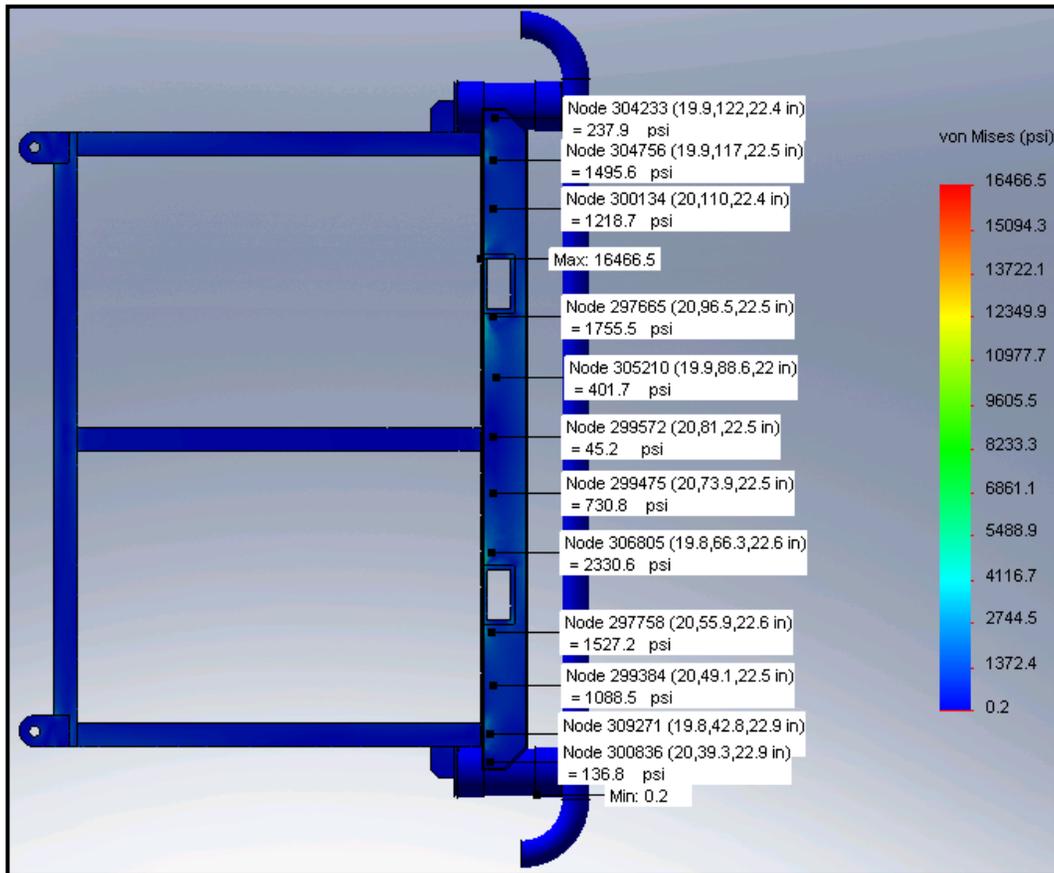


Figura 3.34. Muestreo de esfuerzos en la viga en "c" de la estructura principal (Vista Lateral)

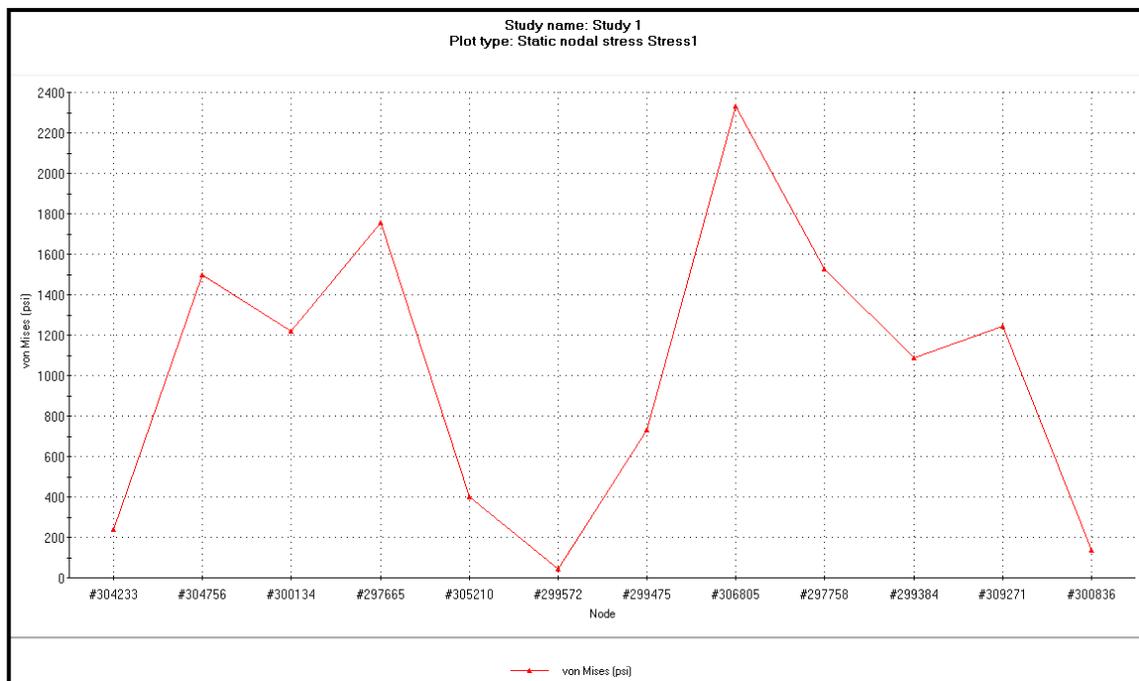


Figura 3.35. Gráfica correspondiente al muestreo de esfuerzos en la viga en "c" de la estructura (Vista Lateral).

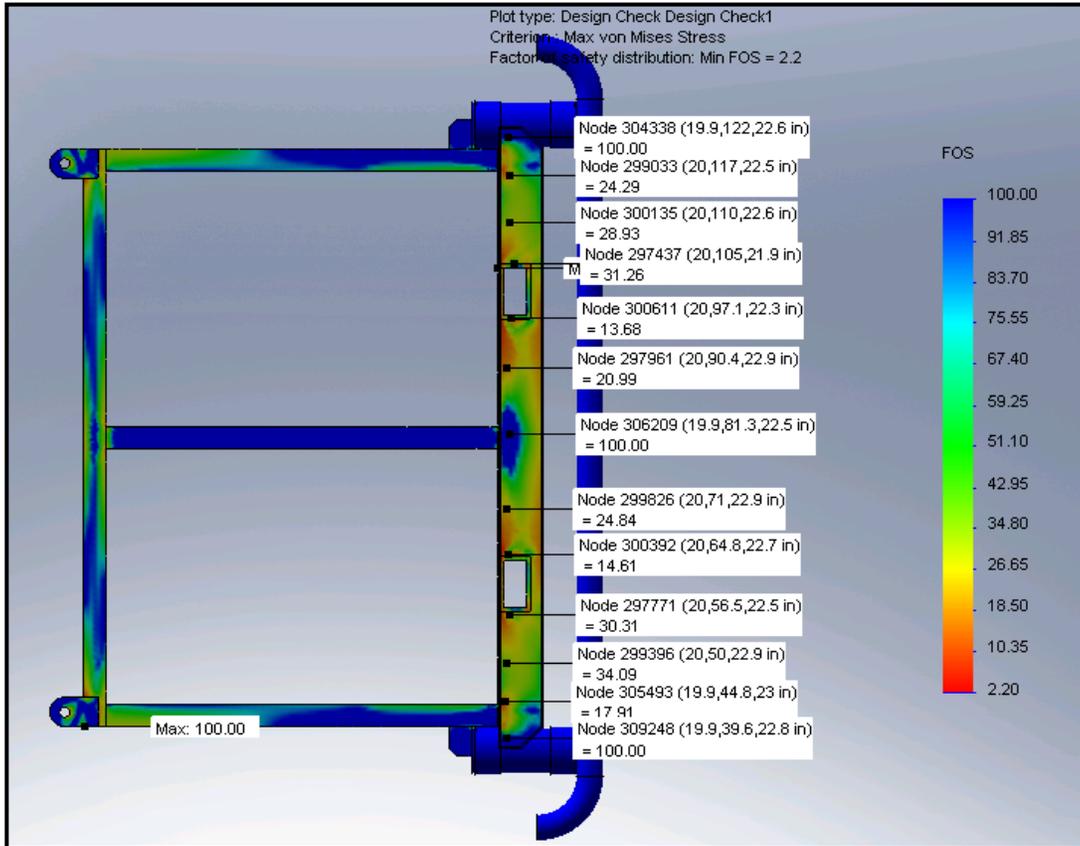


Figura 3.36. Muestreo del Factor de Seguridad en la viga en "c" de la estructura principal (Vista Lateral).

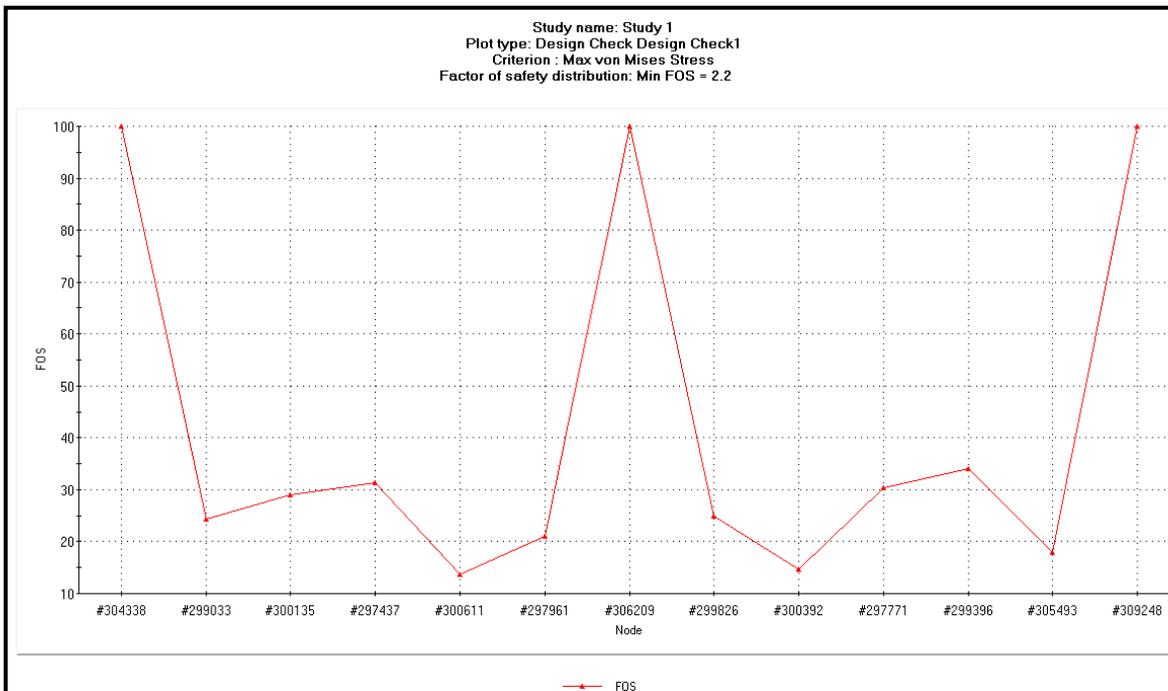


Figura 3.37. Gráfica correspondiente al muestreo del Factor de Seguridad en la viga en "c" de la estructura principal (Vista Lateral).

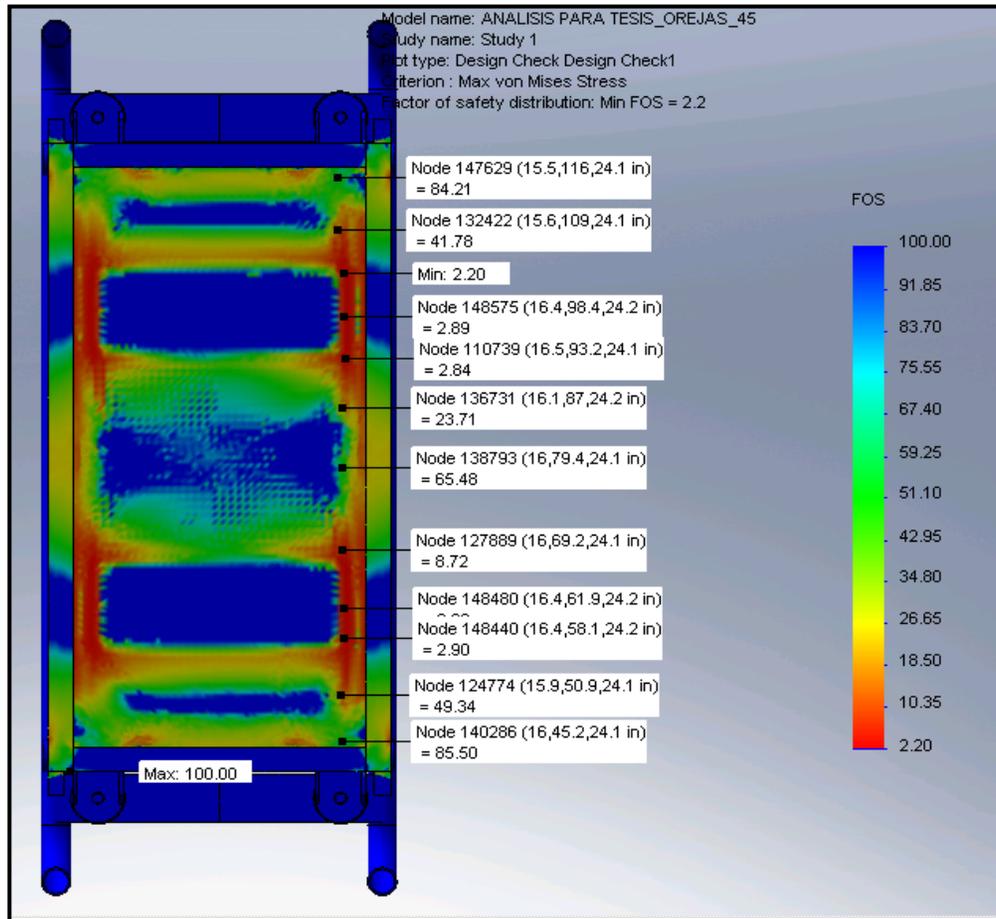


Figura 3.38. Muestreo del Factor de Seguridad en la base de la estructura (Vista Superior)

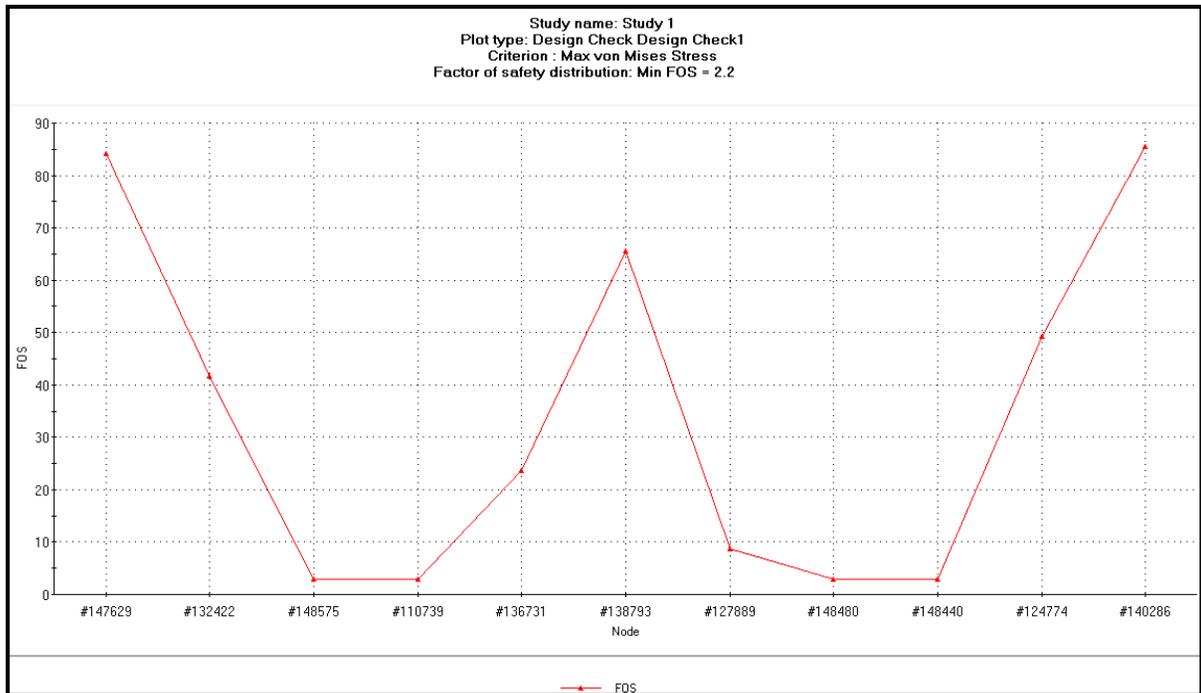


Figura 3.39. Gráfica correspondiente al muestreo del Factor de Seguridad en la base de la estructura (Vista Superior)

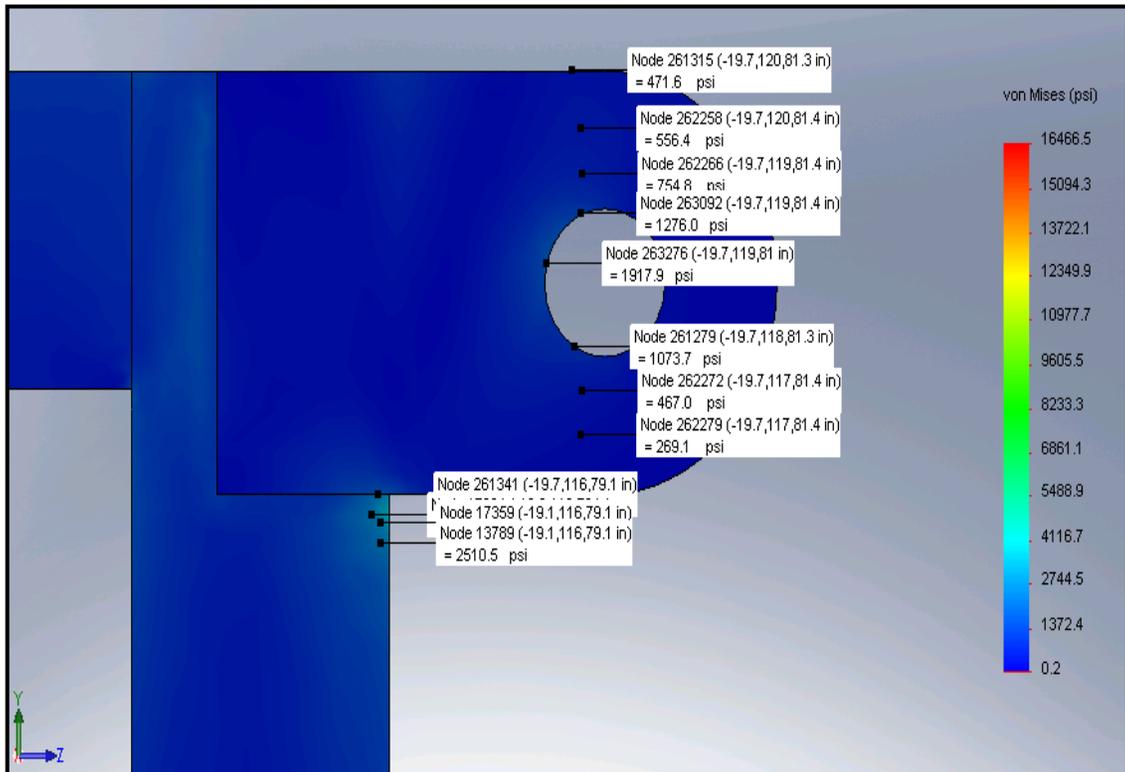


Figura 3.40. Muestreo de esfuerzos en la oreja de izaje (Vista Lateral)

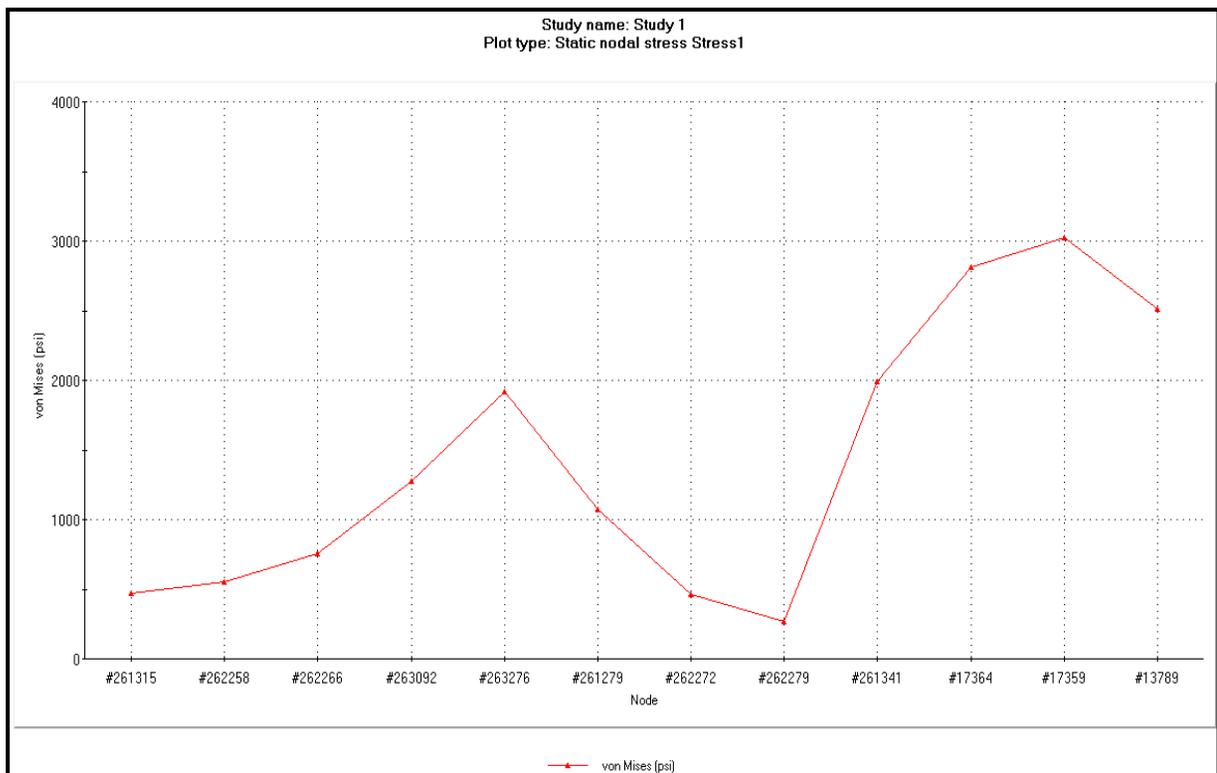


Figura 3.41. Gráfica correspondiente al muestreo de esfuerzos en la oreja de izaje.

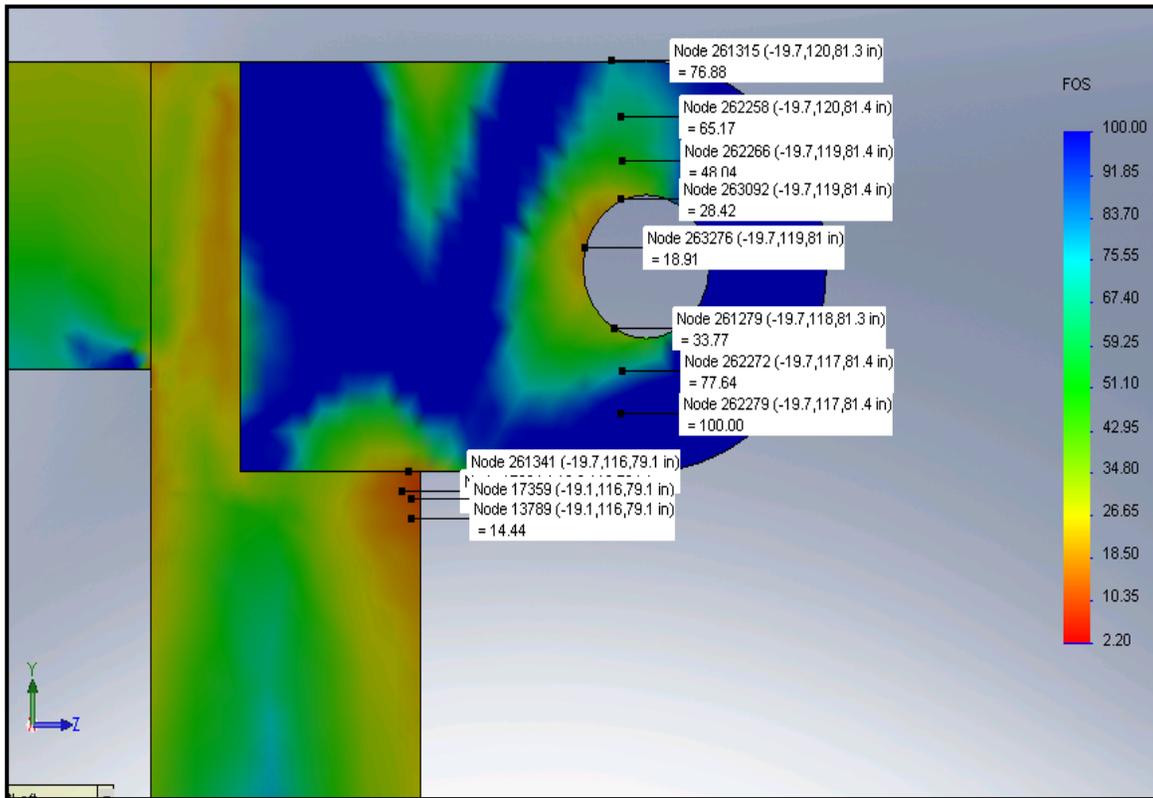


Figura 3.42. Muestreo del Factor de Seguridad en la oreja de izaje (Vista Lateral).

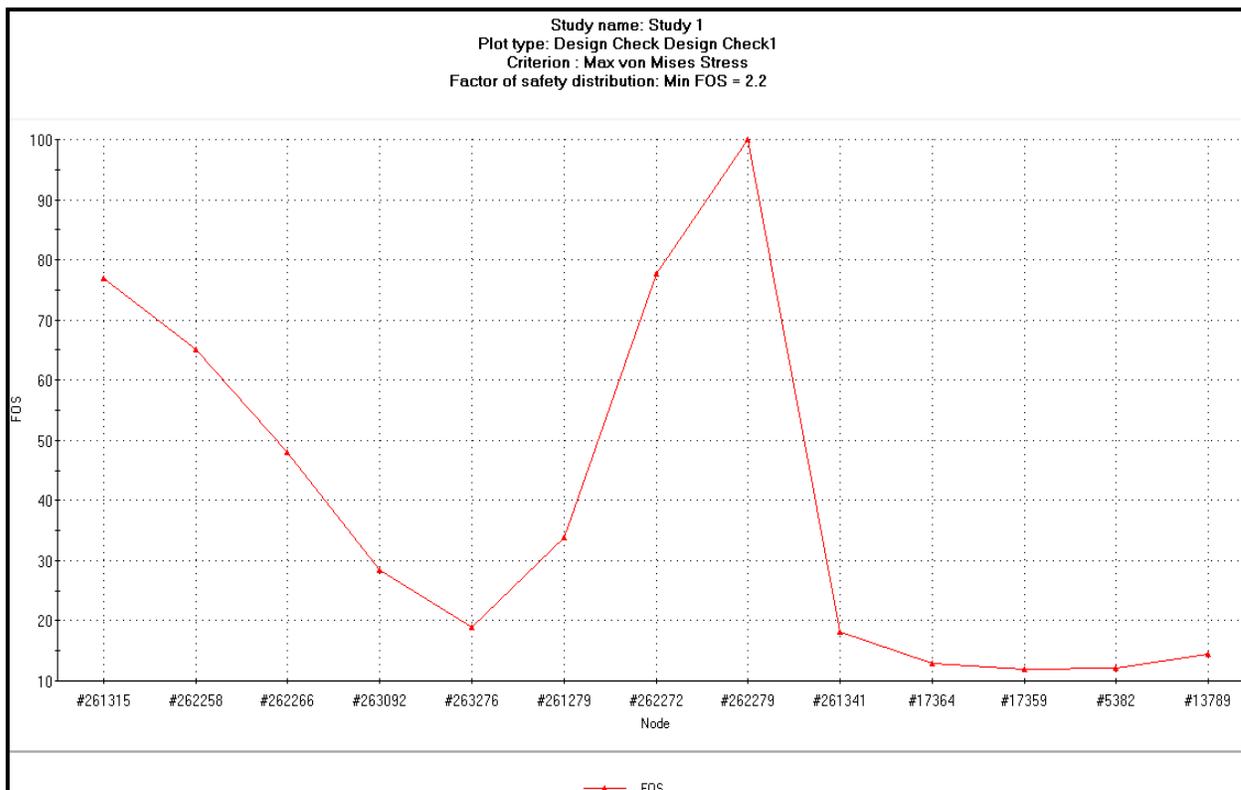


Figura 3.43. Gráfica correspondiente al muestreo del Factor de Seguridad en la oreja de izaje.

Como se mostró en la imágenes de los mapas de esfuerzos y de factor de seguridad mostrados, se puede concluir que la estructura soportará la carga de trabajo a la que es sometida bajo las condiciones de levantamiento (condiciones críticas de trabajo) cuyo valor es de 1974kg (Considerando el peso de la estructura con todas sus puertas y accesorios más el peso del generador), no presentando fallas por efecto de éstas y cumpliendo con las recomendaciones de la norma API SPEC 8A, Teniendo un valor mínimo del factor de seguridad de 2.2 en el piso de la estructura y de valores de 14.4 en la unión de la oreja para izaje con el marco principal de la estructura.

III.3.4- FABRICACIÓN

Una vez validado el modelo virtual en CAE, procedí a calcular la cantidad de material requerido así como la cotización de la lista de los materiales requeridos para la fabricación de una sola caja; dicha lista la muestro en la Figura 3.44 y 3.45 así como la lista de materiales depurada y enviada para la cotización en la Figura 3.46.

LISTA DE MATERIALES CAJA GENERADOR						
LAMINA CAL. 10						
PLANOS	DESCRIPCION	NUM. DE PIEZAS	Ancho (in)	Largo (in)	AREA(in2)	AREA (m2)
PLANO A1	Placa Puerta A1	2	18.25	46.625	1701.8125	1.098
PLANO B1	Placa Puerta B1	2	18.25	46.625	1701.8125	1.098
PLANO C1	Placa Puerta C1	1	39	43.5	1696.5	1.095
PLANO D1	Placa Puerta D1	1	39	42	1638	1.057
PLANO E1	Placa Puerta E1	2	17.5	53	1855	1.197
PLANO F1	Placa Puerta F1	2	19	53	2014	1.299
PLANO G1	Placa Puerta G1	2	19	53	2014	1.299
PLANO H1	Placa Puerta H1	2	17.5	53	1855	1.197
PLANO R	Placa p/piso	1	41	79	3239	2.090
PLANO Q1	Chapa p/puerta	2	3	34	204	0.132
	Area p/chapa	2	1	71	142	0.092
PLANO Q3	Manija p/ puerta	2	10	16	320	0.206
				TOTAL=	18381.125	11.859
Placa de 1/2"						
PLANOS	DESCRIPCION	NUM. DE PIEZAS	Ancho (in)	Largo (in)	AREA parcial(in2)	AREA parcial (m2)
PLANO T2	Pasador P/CHAPA	2	2	14.64	58.56	0.038
PLANO K1	SopORTE p/Amortiguador	8	3	4	96	0.062
				AREA TOTAL=	154.56	0.100
Placa de 3/16"						
PLANOS	DESCRIPCION	NUM. DE PIEZAS	Ancho (in)	Largo (in)	AREA parcial(in2)	AREA parcial (m2)
PLANO L3	Solera p/lluvia	1	1.5	251.5	377.25	0.24338661
PLANO L4	Marco Superior p/lluvia	1	1	226	226	0.14580616
PLANO L5	SOLERA INTERIOR 2 PARA LLUVIA	2	1	68	136	0.08774176
PLANO I	Tapa circular p/base tubular	4	3.5	3.5	49	0.03161284
				AREA TOTAL=	788.25	0.509
ANGULO CUADRADO DE 1X1/8						
PLANOS	DESCRIPCION	NUM. DE PIEZAS	Ancho (in)	Largo (in)	LONGITUD TOTAL (in)	LONGITUD TOTAL (m)
PLANO L2	MARCO INTERIOR PARA LLUVIA	8	35	52	696	17.6784
Placa de 3/4"						
PLANOS	DESCRIPCION	NUM. DE PIEZAS	Ancho (in)	Largo (in)	AREA TOTAL (in2)	AREA TOTAL (m2)
PLANO M	OREJAS DE LEVANTAMIENTO	4	4	4	64	0.0413
Placa de 1/4"						
PLANOS	DESCRIPCION	NUM. DE PIEZAS	Ancho (in)	Largo (in)	AREA parcial(in2)	AREA parcial (m2)
Q1,Q2,Q3	Cuadrados p/candado de 2x2	10	2	2	40	0.0258
PLANO L1	Placa del Marco Principal de PTR	2	17	6	204	0.1316
PLANO K2	Placa Base Amortiguador	8	6.5	6.5	338	0.2181
				AREA TOTAL=	582	0.375

Figura 3.44. Lista de materiales basada en las áreas y longitudes calculadas por plano.

Placa de 3/8"						
PLANOS	DESCRIPCION	NUM. DE PIEZAS	Ancho (in)	Largo (in)	AREA parcial(in2)	AREA parcial (m2)
PLANO O1	Visagras puertas Laterales 2cu	48	2	2	192	0.1239
PLANO P	Visagras puertas Superiores Re	4	2	8	64	0.0413
		4	2	2	16	0.0103
PLANO J	Guías P/montacargas	4	10	37.4	1496	0.9652
		4	4	37.4	598.4	0.3861
PLANO K1	Soporte p/Amortiguador	4	6	6.4	153.6	0.0991
AREA TOTAL=					2520	1.626

Tubo Mecánico de 6" cedula 40					
PLANOS	DESCRIPCION	NUM. DE PIEZAS		LONGITUD TOTAL (in)	LONGITUD TOTAL (m)
PLANO K2	Base amortiguador	1		32	0.8128

Tubo Mecánico de 3" cedula 40					
PLANOS	DESCRIPCION	NUM. DE PIEZAS		LONGITUD parcial(in)	LONGITUD parcial (m)
PLANO I	Base Tubular	2		96.6	2.45364
	codos a 90°	4		12	0.3048
LONGITUD TOTAL				108.6	2.75844

Tubo de 5/8 AISI 304					
PLANOS	DESCRIPCION	NUM. DE PIEZAS		LONGITUD TOTAL (in)	LONGITUD TOTAL (m)
PLANO N	Manijas	8		120	3.048

Tubo de 1/2" cedula 40					
PLANOS	DESCRIPCION	NUM. DE PIEZAS	Longitud Parcial (in)	LONGITUD TOTAL (in)	LONGITUD TOTAL (m)
PLANO O1	Tubo visagra	28	4	120	3.048

Perno Visagra				
PLANOS	DESCRIPCION	NUM. DE PIEZAS	Longitud (in)	Diametro int. (in)
PLANO O	Perno visagra	28	4 3/8	9/16"

PTR DE 3" CAL. ROJO						
PLANOS	DESCRIPCION	NUM. DE PIEZAS		LONGITUD (in)	TOTAL parcial(in)	TOTAL parcial (m)
PLANO L1	Marco principal de ptr	6	horizontales		298	7.5692
		10	verticales		372	9.4488
TOTAL =					670	17.018

PTR DE 1.5" CAL. BLANCO						
		NUM. DE PIEZAS		LONGITUD (in)	TOTAL parcial (in)	TOTAL parcial (m)
PLANO A2	Estructura Puerta A	2	h&v	103	206	5.2324
PLANO B2	Estructura Puerta B	2	h&v	103	206	5.2324
PLANO C2	Estructura Puerta C	1	h&v	132	132	3.3528
PLANO D2	Estructura Puerta D	1	h&v	132	132	3.3528
PLANO E2	Estructura Puerta E	2	h&v	142	284	7.2136
PLANO F2	Estructura Puerta F	2	h&v	142	284	7.2136
PLANO G2	Estructura Puerta G	2	h&v	142	284	7.2136
PLANO H2	Estructura Puerta H	2	h&v	142	284	7.2136
TOTAL =					1812	46.0248

Figura 3.45. Continuación de la lista de materiales requerida para la fabricación de una caja de generador, basada en las longitudes y áreas requeridas por plano de fabricación.

LAMINA CAL 10 (0.1345")		PLACA DE 3/8"	
Pies	Cantidad	Pies	Cantidad
3X10	1	4 x 8	1
4X10	1		
4X8	2		
3x6	1		

SOLERA		VIGA EN C	Libraje de 8.2 lb/ft
Espesor x Ancho	Longitud		Peralte: 6"
1/2" x 2"	15"	Longitud requerida (in)	Patín: Ancho: 2"
1/2" x 3"	35"		Alma Espesor: .2"
3/16"x 1.5"	251.5"		307"
3/16" x 1"	226"		
1/4"x 2"	25"		
3/4" x 4"	20"		

ANGULO CUADRADO DE 1" Y ESPESOR DE 1/8"
Longitud requerida: 696"

TUBO MECÁNICO DE 6" CEDULA 40
Longitud requerida: 36"

TUBO MECÁNICO DE 3" CEDULA 40
Longitud requerida: 115"

PTR DE 3" CAL. ROJO
Longitud requerida: 3 TRAMOS DE 6m cada tramo

PTR DE 1.5" CAL. BLANCO
Longitud requerida: 8 TRAMOS DE 6m cada tramo

TUBO DE 5/8 AISI 304
REQUERIMIENTO: 120"

Figura 3.46. Lista de materiales enviada para la cotización con los diferentes proveedores.

Es así, como una vez realizada la lista de materiales y efectuada las cotizaciones con diferentes proveedores de materiales y de fabricantes, realicé una tabla comparativa (Figura 3.47) en cuanto a costos, tiempo de entrega de los materiales y tiempo de fabricación de la caja, así mismo evalué la capacidad de entrega con respecto al volumen de obra (10 cajas) que podía manejar cada uno de ellos, y resultando seleccionada la empresa Grupo Jadae S.A. de C.V. para la fabricación de las 10 cajas por el costo, calidad, tiempo de entrega así como de la logística para el envío a las instalaciones de Pemex.

TABLA COMPARATIVA DE PROVEEDORES			
PROVEEDOR	TIEMPO DE FABRICACIÓN	MONTO	LOGISTICA DE ENTREGA
Bufete Industrial	90 días	A	SI
Ingeniería Industrial Ruiz	50 días	B	NO
Grupo Jadae	60 días	C	SI

Figura 3.47. Tabla comparativa con los diferentes proveedores, en donde el monto $A > B > C$.

De esta forma se muestra a continuación la memoria fotográfica del proceso de fabricación de las 10 cajas para el generador, procediendo a supervisar el proceso de fabricación y de la prueba de líquidos penetrantes aplicada en cada una de las estructuras.

- *Memoria Fotográfica del proceso de Fabricación. Figura 3.48 y 3.49. Compra de materiales, corte y doblado de lámina para las puertas así como maquinado de cáncamos de izaje, manijas para las puertas y solera bota agua, así mismo se realiza la entrega de resortes para el sistema de amortiguación de impactos.*



a) *Compra de Materiales*



b) *Entrega de Resortes*



c) *Corte y doblado de lámina para las puertas*



d) *Cáncamos de izaje, manijas para las puertas.*



e) *Corte de Materiales*



f) *Fabricación de solera bota agua.*

Figura 3.48. Memoria fotográfica del proceso de fabricación, del inciso a al f.



a) Fabricación de la estructura principal por el 1er. Grupo de soldadores.



b) Fabricación de bases tubulares efectuado por el 2º. Grupo de soldadores.



c) Armado de puertas por un 3er grupo de técnicos, así como la primera caja con sus puertas abatibles ya colocadas.

Figura 3.49. Proceso de fabricación, corte, soldadura y manufactura son realizados en serie.

➤ *Prueba de Líquidos Penetrantes*

La prueba de Líquidos Penetrantes es una prueba no destructiva, la cual nos ayuda a detectar imperfecciones abiertas a la superficie, principalmente en las uniones realizadas por soldadura, así como también es de gran ayuda para mostrar las zonas donde se tengan discontinuidad (falta de fusión metal base-soldadura), escorias, roturas concavidades y socavados (Se presenta cuando el material base se come al material aportado por la soldadura) en la unión del cordón de soldadura con el material base. La prueba consiste de los siguientes pasos:

- *Limpieza y preparación previa de la superficie:* Como etapa preliminar, la superficie del elemento a inspeccionar debe estar limpia y seca y las posibles discontinuidades deben estar libres de agua aceite o cualquier agente que pueda dificultar la entrada del Penetrante, por lo que se realiza la limpieza mecánica con el uso de cincel y cepillo de alambre de las superficies de unión soldadas para mantenerlas libres de escoria, óxido, polvo y suciedad, posteriormente, se aplica removedor, el cual es un solvente a base de aceite que realiza una limpieza química de la superficie, esto prepara la superficie de unión para la aplicación del fluido penetrante.
- *Penetración:* Consiste en aplicar el penetrante sobre la superficie del elemento, de manera que pueda alcanzar y entrar en la discontinuidad. Así tenemos que, posterior al tiempo de espera de aplicación del removedor, se procede a la aplicación del Fluido Penetrante Rojo (marca Magna Flux SKS-ROJO), el cual penetra entre el cordón de soldadura y el material base y que posteriormente a su aplicación se deja actuar durante un periodo de 5 a 10 minutos.
- *Eliminación del exceso de líquido penetrante:* Tiene por objeto eliminar de la superficie el líquido (Fluido penetrante rojo) que no ha penetrado en las discontinuidades, de manera que en la observación final haya suficiente contraste de las posibles indicaciones sobre el fondo limpio, esto mediante la limpieza de un trapo seco y posteriormente con uno húmedo y se deja secar por un período de 10 minutos.
- *Revelado:* El revelador actúa como extractor del penetrante, el cual a través de una reacción química con el líquido penetrante forma una capa blanca homogénea en la superficie de unión soldada, acelerando su tendencia natural a salir de la discontinuidad y a extenderse ligeramente por los alrededores de los bordes de la misma, mostrando mediante el matiz de color rojo intenso las zonas de la soldadura donde existe alguna falla, conocidas como zonas de sangrado.
- *Observación:* Posterior a la aplicación del revelador se lleva a cabo la etapa de inspección visual y señalización de las zonas de falla en los cordones de soldadura mediante el contraste de la capa de color blanco y las zonas de sangrado.



Figura 3.50. Evaluación de las uniones soldadas en la estructura base por medio de la prueba de líquidos penetrantes.

➤ *Sand blast (Arenado).*

El Sand Blast, Sanblasteo o Arenado, es una técnica de tratamiento de limpieza superficial por impacto la cual consiste en la proyección de partículas abrasivas (granalla) a gran velocidad (65-110 m/s) que, al impactar con la pieza tratada, produce la eliminación de los contaminantes de la superficie, con el cual se puede lograr un acabado superficial y simultáneamente una correcta terminación superficial. Algunas de las aplicaciones y usos de la técnica del Sand blastado son: Preparar superficies a pintar o recubrir, remover oxidación e impurezas, quitar pintura y otros acabados así como retirar impurezas de soldadura.



a) Inicio de aplicación del arenado a la parte exterior de la estructura y a las puertas abatibles.



b) Acabado del proceso del arenado a la parte exterior de la estructura y a las puertas abatibles.

Figura 3.51. Arenado aplicado a dos capas en la estructura principal y a las puertas abatibles.

➤ *Acabado con pintura electrostática.*

La Pintura Electrostática («Powder Coating» en inglés – Pintura en polvo) es un tipo de recubrimiento que se aplica en forma, de polvo seco, suele ser utilizado para crear un acabado duro que es más resistente que la pintura convencional. El proceso se lleva a cabo en un horno de curado o bien en cabinas para la aplicación con pistolas electrostáticas y por lo general un área específica donde se cubren con una pintura en «polvo»; se consiguen excelentes resultados tanto en términos de acabado y sellado hermético.



a) Acabado con pintura electrostática parte interior de la estructura.



b) Acabado con pintura electrostática parte exterior de la estructura.

Figura 3.52. Caja de Generador terminada con la aplicación de pintura electrostática vista por su exterior e interior, en conjunto con personal técnico dando los acabados finales.

III.3.5 ENTREGA/RECEPCIÓN

- *Embalaje y entrega de las cajas para Generador Lister.*

Posteriormente del acabado y pintado de las 10 cajas, procedí a la supervisión del embalaje y envío de las 10 cajas para generador a la Base Operativa de Servicio a Pozos, ubicada en PEMEX Exploración y Producción, en el km 4+500, Av. Isla de Tris #26, en la colonia Solidaridad Urbana, en Cd. del Carmen, donde se realizaron maniobras con montacargas para bajarlas de la plancha del tráiler al patio, ahí fueron revisadas y recibidas por personal técnico de Pemex. A continuación se presenta en la figura 3.53, las imágenes del embalaje y entrega en dichas instalaciones.



Figura 3.53. Embalaje y entrega de las 10 cajas para proteger generadores Lister Peter en el patio de maniobras en instalaciones de Pemex en Cd. Del Carmen.

CAPÍTULO IV.

IV.1 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Con base en los objetivos y alcances marcados al inicio de este trabajo, puedo concluir los siguientes aspectos:

El correcto planteamiento del problema, así como la implementación de la metodología descrita, me permitió ejecutar las tareas de forma ordenada y jerarquizada, (elementos aprendidos durante mi preparación universitaria) en el tiempo y forma requeridos por el cliente.

En la fase del diseño del modelo conceptual, apliqué mis conocimientos de análisis gráfico y dibujo mecánico, herramientas con las cuales propuse el modelo con los requerimientos que la información de campo me arrojó (parámetros de entrada y salida). A dicho modelo le apliqué el análisis con elementos finitos a su estructura principal (conocimiento aprendido en la asignatura de diseño y manufactura asistido por computadora). Con este análisis obtuve resultados preliminares del comportamiento de la estructura en condiciones de operación sin la necesidad de invertir en un prototipo para pruebas destructivas, todo esto en un menor tiempo y con mínima inversión. En dicho análisis considere el escenario donde la estructura trabajará bajo las condiciones más críticas (izaje de esta a su máxima carga 974 kg, 9,563N), obteniendo un valor máximo en el mapa de esfuerzos de 16,466 psi, así mismo, obtuve un valor distribuido en toda la estructura del Factor de Seguridad de 2.2, con lo que se cumple los requerimientos marcados por la norma API-SPEC-8.

En lo correspondiente al proceso de fabricación, la selección del proveedor fue fundamental debido al volumen de obra que requería el proyecto, teniendo que cumplir con la más alta calidad tanto en los materiales usados como en el proceso de manufactura, lo cual verifiqué con las pruebas no destructivas realizadas a cada una de las cajas; así mismo el ordenar y calcular las cantidades de materiales usados, así como elaborar las cotizaciones con los diferentes proveedores exigió el uso de los conocimientos aprendidos en la asignatura de ingeniería económica, con lo que se obtuvo un ahorro en los costos tanto en la materia prima como en el proceso de manufactura, logrando la entrega de las 10 cajas para generador dentro del lapso de tiempo otorgado, con un beneficio económico del 300%, en beneficio para Pemex Exploración y Producción, en comparación con compañías extranjeras que ofrecieron este servicio, cumpliendo con las expectativas del cliente.

Así mismo, realicé la recomendación al personal operario de solo hacer uso de estas cajas exclusivamente para el generador Lister Peter HLS 24 y evitar transportar en estas otro tipo de equipo o herramienta ya que se puede rebasar la capacidad de carga para la cual fue diseñada; así mismo mencioné la importancia de realizar una bitácora del

movimiento de estas estructuras a sus diferentes locaciones de operación y/o almacenaje, esto con el fin de tener un histórico de los ciclos de carga de trabajo máxima a las que han sido sometidas para evaluar su mantenimiento.

Finalmente para el desarrollo de este trabajo, requerí de los conocimientos de las diversas asignaturas enseñadas durante mi formación académica y sin las cuales no hubiese sido posible la elaboración de este trabajo; dichos conocimientos son la base de partida, sin embargo durante el proceso de solución del problema, observé que existían cuestiones de aspectos prácticos de los cuales adolecía y que solo la experiencia es capaz de resolverlos, por lo cual a lo largo de este trabajo siempre fui asesorado y guiado por mis colegas de mayor experiencia, motivo por el cual considero que mi formación ha sido de buena calidad en los aspectos concernientes a la parte teórica, sin embargo, la parte práctica para la aplicación de dichos conocimientos recibida durante mi formación es una cuestión que he ido soslayando a lo largo del tiempo con el desarrollo de mi experiencia en diversos proyectos.

Considero que el plan de estudios impartido en la Facultad es de alto nivel académico, que en conjunto con la implementación de un intenso programa de estancias industriales tanto en el sector privado como gubernamental, enriquecería la formación de los futuros ingenieros, permitiendo asentar los conocimientos teóricos como desarrollar las habilidades prácticas, generando experiencia en la vida profesional, la cual es un requisito fundamental para la contratación laboral, así mismo permitirá asentar las bases para el estudio de una especialización, maestría o doctorado, aportando con desarrollos tecnológicos que resuelvan problemáticas reales que generen beneficio tanto económico como tecnológico que tanto requiere el país.

Así, con las siguientes imágenes, muestro la comparativa entre la caja para transportar el generador Lister Peter anteriormente usada y la estructura bajo el rediseño propuesto.



Figura 5.1. Caja para transportar el Generador Lister usada anteriormente y rediseño terminado.

-BIBLIOGRAFÍA

- Diseño de Maquinas.
Robert L. Norton.
Prince Hall, 1999, Estados Unidos.
- Mecánica de Materiales.
Beer Fernandin.
McGraw-Hill, segunda edición 1998, Mexico.
- Manual de Soldadura
Pedro Claudio Rodríguez
Editorial Alsina, Buenos Aires Argentina, 2002
- Manual del Ingeniero Mecánico
Baumeister Theodore, Avallone A. Eugene.
McGraw-Hill, segunda edición 1978, México.
- Norma ASTM E-165
Standard Test Method for Liquid Penetrant Examination.
ASTM International, West Conshohocken, United States.
- Norma ASTM E-1419-99
Standard Practice for Liquid Penetrant Examination.
ASTM International, West Conshohocken, United States.
- Structural Welding Code-Steel
American Welding Society
N.W. LeJeune Road, Miami, FL, 21st Edition
- Norma API-SPEC 8A
American Petroleum Institute

- ANEXOS

