



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

**Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica
Unidad Azcapotzalco**

Sección de Estudios de Posgrado e Investigación

**DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN ALIMENTADOR DE
MATERIALES PARA UN SISTEMA DE FUSIÓN DOBLE, EN
UNA PLANTA DE RECICLAJE DE BATERÍAS ÁCIDAS DE
PLOMO DE DESECHO.**

**T E S I S PARA OBTENER EL GRADO DE:
MAESTRO EN INGENIERÍA DE MANUFACTURA PRESENTA:**

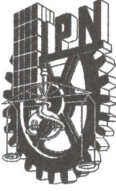
ING. RICARDO GARCÍA HERNÁNDEZ

DIRECTOR(ES):

**DR. IGNACIO ADRIÁN ROMERO
DRA. OLIVIA GUEVARA GALINDO**

MÉXICO D. F., FEBRERO DEL 2011





INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la Ciudad de México siendo las 17:20 horas del día 21 del mes de Febrero del 2011 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis, designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de ESIME-UA para examinar la tesis titulada:

“DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN ALIMENTADOR DE MATERIALES PARA UN SISTEMA DE FUSIÓN DOBLE EN UNA PLANTA DE RECICLAJE DE BATERIAS ÁCIDAS DE PLOMO DE DESECHO”.

Presentada por el alumno:

<u>GARCÍA</u> Apellido paterno	<u>HERNÁNDEZ</u> Apellido materno	<u>RICARDO</u> Nombre(s)
-----------------------------------	--------------------------------------	-----------------------------

Con registro:

B	0	6	1	0	0	6
---	---	---	---	---	---	---

aspirante:


AL GRADO DE MAESTRO EN INGENIERÍA DE MANUFACTURA.

Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron **APROBAR LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

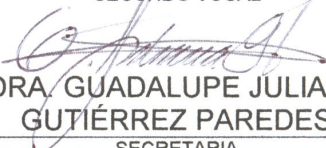
LA COMISIÓN REVISORA

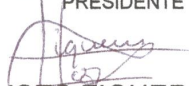
Directores de tesis


DR. IGNACIO ADRIÁN ROMERO
PRIMER VOCAL


DRA. OLIVIA GUEVARA GALINDO
SEGUNDO VOCAL


DR. JAIME PACHECO MARTÍNEZ
PRESIDENTE


DRA. GUADALUPE JULIANA GUTIÉRREZ PAREDES
SECRETARIA


DR. ULISES FIGUEROA LÓPEZ
TERCER VOCAL

PRESIDENTE DEL COLEGIO DE PROFESORES

DR. JAIME PACHECO MARTÍNEZ



AZCAPOTZALCO
SECCION DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

CARTA CESIÓN DE DERECHOS

En la Ciudad de México, D. F. el día 25 del mes de Febrero del año 2011, el que suscribe Ricardo García Hernández, alumno del Programa Maestría en Ingeniería de Manufactura con número de registro B061006, adscrito a SEPI-ESIME-UA, manifiesta que es autor intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección del Dr. Ignacio Adrián Romero y la Dra. Olivia Guevara Galindo y cede los derechos del trabajo intitulado "Diseño y simulación de un alimentador de materiales para un sistema de fusión doble, en una planta de reciclaje de baterías ácidas de plomo de desecho", al Instituto Politécnico Nacional para su difusión, con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección iadrian@ipn.mx; oguevarag@ipn.mx ó ricardogarher@hotmail.com. Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.


Ricardo García Hernández

A mi amada esposa Miriam.

Sin ti, esto nunca hubiera sido posible.

¡Lo logramos juntos mi amor!

Gracias por tu amor y paciencia...

“Rara vez pienso solo con palabras”...

Albert Einstein



INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL
SEPI – ESIME UNIDAD AZCAPOTZALCO
MAESTRIA EN INGENIERIA DE MANUFACTURA



**DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN ALIMENTADOR DE MATERIALES
PARA UN SISTEMA DE FUSIÓN DOBLE, EN UNA PLANTA DE
RECICLAJE DE BATERÍAS ÁCIDAS DE PLOMO DE DESECHO.**

INDICE GENERAL

Resumen	2
Abstract	4
Capitulo 1 Introducción	5
1.1 Antecedentes del problema.	5
1.1.1 Situación actual de las baterías ácidas de plomo usadas (BAPU).	5
1.1.2 Reflexión ambiental.	8
1.1.3. Identificación de la necesidad.	14
1.1.4 Uso actual de las baterías en México.	16
1.2 Justificación.	17
1.3 Objetivos.	24
1.3.1 Objetivo General.	24
1.3.2 Objetivos específicos.	24
1.4 Alcance.	25
1.5 Metodología a emplear.	25
1.6 Organización del trabajo.	26
Capítulo 2 Estado del arte.	
2.1 Historia de las baterías ácidas de plomo.	30
2.2 Las Baterías ácidas de plomo, composición y funcionamiento.	34
2.2.1 ¿Qué es una batería ácida de plomo (BAP)?	34
2.2.2 Componentes de una BAP.	38
2.2.3 Aplicaciones del plomo y descripciones generales.	40
2.3 Cargadores y alimentadores de materiales.	44
2.3.1 Alimentadores en el mercado.	44
Capítulo 3 Metodología empleada y requerimientos generales.	48
3.1 Introducción de la metodología Design for Six Sigma (DFSS).	48
3.2 Definir.	53
3.2.1 Identificación de los requerimientos.	53
3.2.2 Medir y Analizar.	54
3.2.2.1 Describiendo el proceso.	54
3.2.2.2 Análisis del proceso (Mapping process).	56
3.3 Diseñar.	59
3.3.1 Requerimientos generales del diseño.	59
3.3.1.1 Materiales.	60
3.3.1.2 Espacio.	66
3.3.1.3 Temperatura.	67
3.3.1.4 Condiciones de funcionalidad.	68
3.3.1.5 Análisis del diseño propuesto.	68
3.4 Validación del diseño propuesto.	73
3.4.1 Diseño funcional.	73
3.4.2 Ingeniería de detalle de las unidades de ensamble.	75
3.4.2.1 Conjunto de tolva superior.	75
3.4.2.2 Refuerzos tolva superior.	76

3.4.2.3 Soportes acopladores de tolva superior.	76
3.4.2.4 Tolva inferior de carga.	77
3.4.2.5 Resorte amortiguador de carga.	78
3.4.2.6 Celda de carga.	78
3.4.2.7 Columnas de carga.	79
3.4.2.8 Motor y alimentador sinfín de material.	80
3.4.2.9 Marco inferior y rodamientos de carga.	81
Capítulo 4 Validación del diseño y simulación de esfuerzos.	83
4.1 Introducción.	83
4.2 Método de diseño por elementos finitos (FEM).	84
4.3 Mecánica de las fracturas, conceptos básicos.	87
4.4 Teoría de la energía de la máxima distorsión (Teoría del máximo esfuerzo cortante sobre un plano octaedro).	89
4.5 Factores de seguridad, conceptos y definición.	91
4.6 Factores de seguridad. Selección de un valor numérico.	92
4.7 Simulación de esfuerzos.	96
4.7.1 Validación y simulación de esfuerzos para el conjunto de tolvas.	96
4.7.1.1 Análisis de tolva número 1 superior.	101
4.7.1.2 Análisis de presión tolva número 1 superior.	102
4.7.1.3 Análisis de refuerzos tolva número 1 superior.	104
4.7.1.4 Análisis general de la tolva número 2 inferior.	108
4.7.1.5 Análisis general del soporte de carga de las tolvas.	116
4.7.1.6 Análisis general de la tapa de carga sensor.	121
4.7.1.7 Análisis general de las columnas de carga.	123
4.7.1.8 Análisis general de las columnas con el marco inferior y las chumaceras del equipo.	127
4.7.1.9 Análisis general de las chumaceras de carga (cuerpo principal).	131
4.7.1.10 Análisis general del pasador y la rueda de carga.	155
Capítulo 5 Manufactura y descripción de ensamble.	139
5.1 Ensamble general de la unidad cargadora de material.	140
5.2 Conjunto de ensamble del aero charger y de la tolva superior.	145
5.2.1 Manufactura y ensamble del equipo.	145
5.2.1.1 Aero charger.	145
5.2.1.2 Tolva superior.	
5.2.1.3 Costos de manufactura de la tolva superior.	152
Resultados y conclusiones.	156
Recomendaciones para trabajos futuros.	160
Índice de figuras.	161
Índice de tablas.	164
Bibliografía.	166

Resumen

El presente trabajo establece una metodología sobre el diseño de un equipo alimentador de materiales enfocándose en el cumplimiento de alimentar dos hornos de fusión para plomo que procesa materiales reciclados a partir de baterías ácidas de desecho. El equipo es modelado en un sistema CAD (Computer Aided Design) llamado “solid works 2010” y simulado mecánicamente en el ambiente de un sistema CAE (Computer Aided Engineering) para su análisis y optimización, por medio de la aplicación de la metodología del “diseño para seis sigma” y fundamentos de resistencia de materiales como pilar fundamental para el desarrollo de la propuesta. La mejora comienza justificando las necesidades del cliente y del proceso, con una descripción detallada de los costos operativos que demuestran la factibilidad de la propuesta, a través de la aplicación de la metodología, la propuesta se va perfeccionando para pasar a través de los capítulos desarrollados en donde se parte de un diseño conceptual del equipo y aplicando los requerimientos para transformarlas en especificaciones que se utilizan como base para el modelado de esfuerzos y la optimización del equipo obteniendo el detalle general del equipo final. La modelación juega un papel prioritario para demostrar la funcionalidad del equipo utilizando un software especializado que nos permitirá simular las principales condiciones a las que estará sometido dentro del ambiente de trabajo proyectado así como la descripción de la manufactura y los costos involucrados en su construcción junto con las recomendaciones generales para equipos en condiciones de procesos similares.

Abstract

The present work has been established a methodology about the design of a feeder loader equipment of materials focused to feeding two foundry furnaces for the lead recycling system that came from spent lead acid batteries. The equipment will be modeled in a CAD system (Computer Aided Design) called “solid works” and simulated mechanically in the environment of a CAE system (Computer Aided Engineering) for its analysis and optimization and also using the methodology “design for six sigma”. The improvement begins justifying the necessities of the client with a detailed description of the operative costs involved that will be demonstrating the feasibility of the proposal through the application of the methodology. The proposal is showed through of all the chapters where we will be starting from a conceptual design applying the requirements to transform them finally in specifications that will be used for the optimization of the equipment obtaining a general detail for a machine to be manufactured. Modeling plays a high priority paper to demonstrate the functionality using a specialized software that will allow us to simulate the mainly conditions of the proposal, showing us the conditions of manufacturability and the costs involved into the final construction itself.

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

En este capítulo se dan a conocer los diversos aspectos de las baterías ácidas de plomo, su manejo y directrices de aplicación internacionales. Justificamos por medio del análisis económico la razón de la existencia de esta propuesta al implementar un nuevo equipo que beneficiará económicamente al proceso de fusión de baterías, y por otra parte; se muestran los objetivos y el alcance del trabajo que por medio de la aplicación de la metodología “diseño para seis sigma” desarrollarán cada uno de los capítulos que integrarán la tesis.

1.1 Antecedentes del problema.

1.1.1 Situación actual de las baterías ácidas de plomo usadas (BAPU).

Las baterías ácidas de plomo usadas permiten, mediante un proceso electroquímico, almacenar energía eléctrica en forma de energía química y liberarla cuando se conecta con un circuito de consumo externo. Las reacciones son reversibles, por lo que la batería puede ser recargada con una fuente de energía externa. En la práctica existen limitaciones para que este ciclo de carga-descarga pueda ser repetido indefinidamente. Por lo que al final de la vida útil del dispositivo, éste se convierte en un residuo peligroso post-consumo.

Esta propuesta busca coordinar esfuerzos para el proceso de reciclaje de este tipo de baterías post-consumo como parte importante en el proceso de reciclaje responsable y seguro. De esta manera se hace efectivo el principio de responsabilidad compartida postulado en la LGPGIR (Reglamento de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de Residuos), según el cual, se reconoce que los residuos son generados a partir de la realización de actividades que satisfacen necesidades de la sociedad mediante distintos tipos de cadena de valor, y en consecuencia, su manejo integral es una corresponsabilidad social y requiere la participación conjunta, coordinada y diferenciada de los diferentes actores involucrados así como las órdenes de gobierno involucrados, bajo un esquema de factibilidad de mercado y eficiencia ambiental, tecnológica, económica y social.

El tipo de baterías ácido-plomo, son las que se usan en mayor medida en los vehículos como fuente de energía para el arranque. Por lo que el consumo de estos dispositivos está ligado al parque vehicular existente. Según el estudio “Estadísticas Históricas de México 2009”, publicado en 2010 por el INEGI (Instituto Nacional de Geografía e Informática) en el 2009 existían un total de 25,686,187 vehículos en el país, de los cuales el 68.25% correspondían a automóviles, el 30.64% a camiones de carga y el 1.09% a camiones de pasajeros.

Por otra parte, el estudio “Estadística de la Población de Vehículos en México 2009”, reporta que al 2008 existían en México 23 millones 4 mil 253 vehículos, de los cuales, el 53.88 % lo conforman los automóviles, el 44.97 % camiones, y el resto los tractocamiones y autobuses integrales. Se estimaba para el 2009 una población de 24,530,940 y para el 2015 se prevé una población vehicular de 33,907,706. En los últimos años, en conjunto, se registra un crecimiento promedio anual de 7.6 por ciento, presentándose en el 2006 el índice de aumento más alto con 12.1 por ciento. El estudio tiene como fuentes de su elaboración: AMIA (Asociación Mexicana de la Industria Automotriz), ANPACT (Asociación Nacional de Productores de Autobuses, Camiones y Tractocamiones), AMDA (Asociación Mexicana de Distribuidores de Automóviles), AMIS (Asociación Mexicana de Instituciones de Seguros), armadoras, empresas de autopartes, organizaciones gubernamentales federales, gobiernos estatales y ONG's (Organizaciones no Gubernamentales).

En base al estudio anterior se realizó una proyección al año 2015 del número de vehículos anuales, así como de las toneladas anuales generadas de baterías usadas en el país. Tomando como inicio el dato de 24,530,940 vehículos en 2009 y un crecimiento anual del 5.54%, además se considero una vida media de cada batería de 2.5 años y un peso promedio de cada batería de 18 kg.

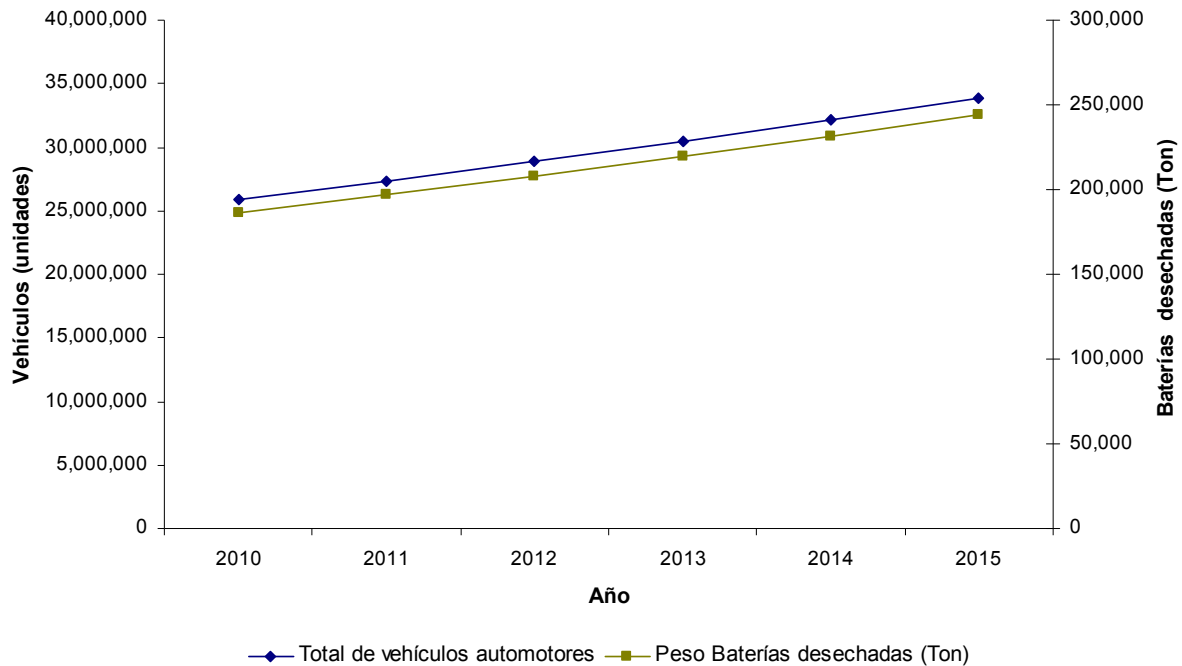


Figura 1.1 Proyección al 2015 del número de vehículos y de las toneladas de baterías usadas generadas anualmente en el país.

En el ejercicio anterior se estima que en este año 2010 existen alrededor de 25,889,954 vehículos en el país. Con este parque vehicular se estarían generando un estimado de 186,407 toneladas anuales de baterías de plomo usadas. La capacidad de la planta de reciclaje de este proyecto tiene 36,000 toneladas anuales, por lo que la capacidad de dichas instalaciones de cubrir el mercado de reciclaje de baterías usadas es de un 19% en la actualidad. La proyección a 2015 nos permite estimar un parque vehicular en el país de alrededor de 33,901,329 vehículos en el país, con lo cual se generaran un estimado de 244,089 toneladas anuales de baterías usadas. Esto representa un 15% de la demanda de reciclaje cubierta por las instalaciones de la empresa generadora de esta propuesta, creando más de 100 empleos directos y 2000 indirectos en la cadena de reciclaje del país. Con la capacidad de reciclaje de la empresa se pretende lograr el adecuado acopio de 2,000,000 de BAPU anuales, lo cual representa la capacidad de reciclaje de la Batería Verde S.A. de C.V. Se estima que, aún con lo anterior quedaría un mercado no cubierto de reciclaje de BAPU en el país de alrededor de 3,000,000 de unidades. Por lo que este es un importante paso para lograr bajar esta cifra y evitar la liberación al ambiente de este tipo de residuo peligroso Post-consumo ya que hoy en día se exportan más de 1,500 toneladas de baterías ácidas de plomo usadas a otros países del mundo en donde existe tecnología adecuada

para su coprocesamiento, lo que involucra perder capacidad de reúso de desechos locales e incrementar el peligro de manejo de residuos peligrosos en el transporte de los mismos hacia el mundo.

Esta propuesta pretende crear un equipo que para empezar no se fabrica en nuestro país y tendríamos que importar de Italia o países de la Comunidad Europea a precios bastante altos (entre 1.2 y 1.7 millones de euros) El equipo nuevo no solamente se utilizaría para la alimentación de desechos de plomo, si no a su vez para materiales de aluminio, escorias especiales, cobre y cualquier tipo de metal u horno abierto que pueda recibir materiales por medio de dosificación controlada.

1.1.2 Reflexión ambiental.

La capacidad de manejo adecuado de los residuos peligrosos (RP) en México es sumamente limitada; de hecho, sólo una pequeña proporción del total generado es transportado, reciclado, destruido o confinado en condiciones técnicas y ambientales satisfactorias, una gran cantidad de industrias operan a nivel artesanal, por lo que los sistemas de administración y control de procesos son empíricos y basados principalmente en experiencias empíricas. La falta de infraestructura y de servicios para el manejo adecuado de residuos peligrosos ha propiciado la proliferación de prácticas ineficientes de gran impacto ambiental. Sus consecuencias ambientales han sido ya documentadas y abarcan desde el deterioro a la salud y la inutilización de mantos acuíferos, hasta la afectación de cadenas de seres vivos a través de procesos de degradación.

Dentro de los residuos peligrosos que provocan mayor interés en materia ambiental se encuentran las baterías ácidas de plomo, cuyos compuestos presentan características tóxicas, por lo que los desechos generados por las baterías usadas si son tratados de forma inadecuada presentan un alto riesgo para el medio ambiente y para la salud humana, algunos de ellos descritos a continuación:

Aspectos sociales¹: A la fecha se han realizado diversos estudios a nivel nacional e internacional a través de los cuales se han tratado de identificar los niveles de toxicidad para el plomo y sus compuestos. Sin embargo, esta tarea es difícil debido a los numerosos factores que

tienen influencia, como pueden ser las características de la persona expuesta (edad, peso, tipo de alimentación, estado de salud, estilo de vida, etc.), el tipo de compuesto, el tiempo de exposición, dosis de exposición, vías de exposición (contacto dérmico, ingestión e inhalación). Tenemos también que todos los compuestos inorgánicos actúan en el organismo de la misma forma una vez que han sido absorbidos, además de que por lo general son poco solubles. Es por ello que su toxicidad es relativamente escasa comparada con la de los compuestos orgánicos, los cuales difieren de los primeros en cuanto a su absorción, adsorción y distribución en el organismo (Industrias Peñoles SA de CV, Agosto 2006).

Los resultados arrojados por las investigaciones también incluyen las alteraciones en el cuerpo humano en función de la duración de la exposición y del tipo de compuesto de plomo, además que su característica de acumulación incrementa el riesgo para la salud.

No se conoce aún una función biológica de este elemento en el ser humano y se ha detectado que los segmentos de la población más vulnerables a la exposición al plomo son los niños menores de 6 años y fetos.

De manera general podemos clasificar los tipos de intoxicación en dos clases:

Aguda: Esta se define como “los efectos adversos totales producidos por una sustancia (en este caso el plomo) cuando se administra en dosis única o en dosis múltiples a lo largo de un período de 96 horas o menos”. Es la menos frecuente, generalmente es accidental y suele resultar de la inhalación de partículas de óxidos de plomo. Al principio se presenta un estado de anorexia con síntomas de dispepsia y estreñimiento y después un ataque de dolor abdominal generalizado, además de diarrea, sabor metálico en la boca, náuseas, vómito, lasitud, insomnio y debilidad. Los síntomas incluyen dolor tipo cólico gastrointestinal.

La encefalopatía aguda debido al plomo es rara en los adultos, pero se cuenta con información sobre diversos casos en niños intoxicados con pedazos de pintura de casas viejas, principalmente en los Estados Unidos. Las formas más severas de la encefalopatía se desarrollan de repente con pérdida de la estatura corporal y se puede presentar coma o paro respiratorio.

Crónica: La toxicidad crónica se define como “los efectos adversos totales producidos por un agente tóxico (en este caso el plomo), cuando se administran dosis con una exposición prolongada (mayor a 96 horas) de modo intermitente a lo largo de un período considerable de tiempo (generalmente tres meses o más)”. Se presenta generalmente por la adsorción de óxidos, carbonatos y otros compuestos solubles en agua a través del tracto digestivo. Otra vía de exposición es la inhalación como sucede en las fundiciones donde los trabajadores están expuestos a humos y polvos. Los síntomas asociados son pérdida de peso en niños, debilidad, anemia y déficit neuroconductual, en los adultos se manifiesta como problemas gastrointestinales.

Debido a su toxicidad, en México, la autoridad ambiental federal considera como residuos peligrosos, algunos de los residuos de la fundición (primaria y secundaria) de plomo; extracción; producción de baterías; y los residuos conteniendo secantes, pigmentos y otros compuestos (a base de plomo o el plomo en sí) durante la producción de pintura, y por esta razón se encuentran sujetos a las disposiciones normativas correspondientes al manejo de los residuos peligrosos.

En México, la exposición de los trabajadores al plomo se encuentra normada por la Secretaría del Trabajo y Previsión Social (STPS) a través de la NOM-010-STPS-1999. La primera columna en la tabla 1.1 contiene dicha información.

Las últimas 3 columnas de la tabla 1.1, se muestra información de los límites máximos de exposición de los trabajadores para cada compuesto en Estados Unidos, según los requerimientos legales de la OSHA (Occupational Safety and Health Administration), y las recomendaciones de la ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists) y del NIOSH (National Institute for Occupational Safety and Health).

Compuesto	STPS	OSHA (PELs ²)	ACGIH (TLVs ^b)	NIOSH (RELs ^c)
Plomo y compuestos inorgánicos	LMPE-PPT ^a : 0.15 mg/m ³	0.05 mg/m ³ Turno laboral de 8 horas	TWA: 0.05 Turno laboral de 8 horas	< 0.1 mg/m ³ Turno laboral de 8 horas
Monóxido de plomo	-	-	-	-
Dióxido de plomo	-	-	-	-
Tetraóxido de plomo	-	-	-	-
Cromato de plomo	-	-	TWA: 0.05 mg/m ³ como Pb, 0.012 mg/m ³ como Cr	TWA 0.001 mg/m ³ como Cromo (VI)
Arseniato de plomo	LMPE-PPT: 0.15 mg/m ³	TWA: 0.01 mg/m ³ como As	TWA: 0.15 mg/m ³	TWA: C 0.002 mg/m ³ como As, 15 min.
Carbonato de plomo ^f	-	-	-	-
Sulfato de plomo ^f	-	-	-	-
Antimoniato de plomo ^f	-	TWA: 0.5 mg/m ³ como Sb ^g	TWA: 0.5 mg/m ³ como Sb ^g	TWA: 0.5 mg/m ³ como Sb ^g
Sulfuro de plomo	-	-	-	-
Acetato de plomo	-	-	0.15mg/m ^{3h}	-
Tetraetilo de plomo	-	TWA: 0.075 mg/m ³ , skin ^g	TWA: 0.1 mg/m ³ , skin ^g	TWA: 0.075 mg/m ³ , skin ^g
Estearato de plomo	-	-	-	-
Naftenato de plomo	-	TWA: 100,000 ppm ^h	TWA: 100,000 ppm ^h	-

Tabla 1.1 Límites de exposición de los trabajadores al plomo y sus compuestos² (NOM-010-STPS-1999, edición 1999)

Otro aspecto evaluado también es el potencial del plomo y sus compuestos para producir cáncer, la categoría en la cual se coloca a cada compuesto, se presenta en la tabla 1.2

Compuesto	Categoría	No. CAS	No. UN*
Plomo y sus compuestos	A3 EPA-B2 IARC-2B MAK-3B TLV-A3	7439-92-1	-
Monóxido de plomo	-	1317-36-8	3288
Dióxido de plomo	-	1309-60-0	1872
Tetraóxido de plomo	-	1314-41-6	-
Cromato de plomo	EPA-A NTP-K IARC-1 TLV-A2 MAK-3B NIOSH-Ca	7758-97-6	-
Arseniato de plomo	EPA-A NTP-K IARC-1 OSHA-Ca MAK-1 NIOSH-Ca	3687-31-8	1617
Carbonato de plomo	OSHA: No carcinógeno IARC- No carcinógeno ¹	598-63-0	-
Sulfato de plomo	EPA/IRIS -B2 IARC-2B1	7446-14-2	1794
Antimoniato de plomo	-	-	-
Sulfuro de plomo	-	1314-87-0	-
Acetato de plomo	-	301-04-2	1616
Tetraetilo de plomo	IARC-3 TLV-A4	78-00-2	1649
Estearato de plomo	TLV-A4 , como estearato	1072-35-1	-
Naftenato de plomo	-	8052-41-3 ¹	-

Tabla 1.2 Límites de categoría de carcinogenicidad del plomo y sus compuestos³ (NOM-010-STPS-1999, edición 1999)

En el sector informal debido a la falta de tecnología para reciclar los subproductos obtenidos del desarmado de las baterías ácidas de plomo, como el plástico de las cajas de baterías (que aparentemente ya no contienen plomo) se tiran como basura a un predio o son enterradas; así mismo, esto sucede con los separadores y tapones de plástico de los bornes de la

batería, o en el peor de los casos son usados como combustible. En cuanto al manejo del electrolito obtenido de las baterías hay tres alternativas, a) es tirado al suelo o al alcantarillado b) o se almacenan en barriles plásticos o de metal y se mezclan con ácido sulfúrico concentrado para poder volver a obtener electrolito para hacer funcionar las baterías que han sido reacondicionadas nuevamente o c) en su caso se trata para obtener un nuevo producto como el sulfato de sodio.

Sin embargo, el mal manejo de los materiales y los residuos peligrosos (entre otras consecuencias), han traído consigo la contaminación de los suelos, ya sea como resultado de eventos inesperados que han provocado su vertimiento accidental o de su liberación continua al ambiente debido a prácticas indeseables que se traducen en fugas, derrames, descargas o en la inadecuada disposición de los residuos. El manejo y la disposición ambiental adecuada de los residuos peligrosos se abordan sobre todo mediante la prevención orientada tanto a la reducción de los volúmenes de generación como al reciclaje, reutilización y tratamiento para reducir su peligrosidad o volumen.

El desarrollo de la infraestructura ambiental que se requiere para atender la demanda actual y potencial en materia de residuos industriales es necesario e indispensable para contar con grados de libertad en el proyecto ambiental del país. En materia de residuos industriales, las soluciones a futuro se fincan en la adecuación de las mejoras tecnologías disponibles aplicables a plantas de reciclaje.

El reciclaje o recuperación de la mayor parte de los residuos constituye una necesidad imperiosa para cualquier sociedad moderna, considerándose como una solución práctica, efectiva y socialmente valiosa. De tal forma, las plantas de reciclaje se introducen como un ramo industrial de alto grado de desarrollo, con tecnología muy avanzada, pero incipiente y que depara cada día alguna innovación.

En los últimos años se ha producido un incremento del nivel de Plomo (Pb) en el ambiente, como consecuencia de diversas actividades generales tales como la fundición, la minería, la fabricación de pinturas, la combustión de gasolina y el reciclaje de baterías ácidas.

Las baterías ácidas de plomo desechadas son consideradas residuos peligrosos según la Directiva Europea EEC (1991) y las normas de manejo de materiales internacionales como las del tratado de Basilea. El reciclado de estos residuos se considera preferible a su depósito en un vertedero o su incineración ya que el porcentaje de metal recuperable puede establecerse en casi un 98%. Las plantas de reciclaje de baterías ácidas realizan operaciones tales como ruptura o trituración de las baterías, drenaje del ácido para su destilado y fraccionamiento, así como la separación del metal y fundición del plomo recuperado, estas compañías recuperan materiales para su reciclado regresándolas a un ciclo funcional para evitar consumir energéticos adicionales para su manufactura.

Consecuentemente; hoy en día nos enfrentamos a un número limitado de recursos, a un aumento general de la población y contaminación, y al mismo tiempo, a una necesidad de desarrollo de protección de los ecosistemas que sustentan la capacidad productiva del planeta, por lo que resulta imprescindible e inevitable buscar formas de desarrollo ecológicas y sostenibles. En el contexto del desarrollo sostenible, las tecnologías que ahorran recursos y costos son fundamentales; una importante vía para que dichos sectores avancen hacia la sustentabilidad consiste en mejorar los sistemas de producción mediante tecnologías y procesos que aprovechen mejorar los recursos y que paralelamente, produzcan menos desechos, es lograr más con menos. Las tecnologías ecológicas son cruciales para mejorar la productividad y proteger al medio ambiente. En México, la gestión inadecuada de los residuos sólidos de baterías tiene efectos negativos directos sobre la salud, ocasionando envenenamientos, contaminaciones de los mantos acuíferos, quemaduras, lesiones irreversibles, entre otras cosas. Nuestro mundo nos exige regresarle algo de lo que le hemos quitado para satisfacer nuestras necesidades, un desarrollo sostenible se basa en la recuperación de los materiales no renovables, contribuyendo a mejorar nuestro hábitat para no deteriorarlo más.

1.1.3 Identificación de la necesidad.

Actualmente en la implementación del desarrollo del proyecto se encuentran bastantes elementos vitales que son esenciales para la funcionalidad de una planta de reciclado, en las cuales se incluyen áreas específicas de trituración, desulfurización, fundición y refinado. En nuestro caso, nos hemos enfocado a la mejora operativa del área de Fundición de Plomo, en el

cual encontramos una importante oportunidad para la mejora de la carga de materiales que originalmente se realizan de forma manual por medio de un montacargas que limita al proceso de alimentación de los hornos de fundición (dos hornos rotatorios), mostrando pérdidas del sistema en eficiencia de manera considerable.

Este problema conlleva a que la carga del material se vuelva más lenta y por demás peligrosa, ya que los elementos a cargar son materiales que tienen plomo en polvo o en pequeñas parte sólidas, que a su vez presentan una humedad en concentración del 2% de electrolito (ácido sulfúrico en un 20 al 30% más agua en un 70 al 80%), provocando posibles problemas respiratorios para el operador encargado de la carga de materiales, que a la larga serían fatales.

Los hornos fusores tienen la capacidad de carga de 5000 litros de material fundido (aproximadamente de 57 a 58.5 toneladas de carga de plomoⁱ), cada carga de material es llevada a cabo por un sistema que alimenta el material con cada vaciada desde una pala mecánica de un montacargas. Los consumos de energéticos y tiempo hacen que esta operación sea bastante lenta, lo cual involucra tener 2 montacargas en una operación de alimentación para dos hornos fusores casi en una disposición del 100% de tiempo.

El balance del proceso anterior arrojó los siguientes datos:

- Consumo de 1 tanque de gasolina por un turno de 8 hrs (aproximadamente 60 litros).
- Necesidad de 2 operadores de montacargas.
- Exceso de polvo en el ambiente al hacer la carga de material (ambiente saturado de plomo desulfurado y óxido de plomo).
- El proceso se limita a balancear los hornos para cargas de fusión, depende de la composición de la carga para saber tiempo de proceso fusor.
- Cuando el proceso lo demanda, el horno requiere realizar una operación de “escoreo”ⁱⁱ el cual necesita de un montacargas que se está ocupando en la preparación de cargas.
- El sistema de carga es bastante caro y peligroso.

ⁱ Densidad específica del Plomo de 11.4 a 11.67 kg/lit, en una cantidad de 5000 litros da una cantidad aproximada de 57,000 a 58,350 toneladas métricas (MT)

ⁱⁱ Proceso de Escoreo: Proceso de remoción de cenizas en un proceso de fusión y mezclado de materias en el horno.

Realizando el análisis del sistema de carga en el área de fusión, encontramos que tener un equipo de alimentación manual para los hornos tiene muchas desventajas contra un equipo automático de alimentación el cual sustituye a los sistemas de alimentación desde el material hasta el llenado de los hornos en menos del 80% y con ahorros que elevarían la eficiencia y la rapidez del proceso de fusión ya que este sistema sería:

- Semi-automático.
- Podría alimentar 2 hornos fusores en etapas.
- Incluiría un sistema de auto pesaje para control de materias primas mezcladoras.
- Un sistema seguro para los operadores de fundición.
- Rápido y económico comparado con equipos que se encuentran en el mercado.-
- De fácil mantenimiento y de construcción interna en la planta.
- Posibilidad de fabricación interna.

1.1.4 Uso actual de las baterías en México.

Desgraciadamente en nuestro país existen decenas de fundidores clandestinos no autorizados, estos se encargan de “reciclar utópicamente hablando” los componentes de las baterías, extraen los módulos de plomo del interior de los acumuladores, los funden sin ningún control y obtienen plomo en lingotes de baja calidad. En el mejor de los casos “lavan” el plástico triturado (y el agua que utilizan la vierten directamente al drenaje local) junto con el electrolito (ácido de batería) no poseen tecnología alguna que sea apropiada para su reciclaje por lo cual en la mayoría de las ocasiones vierten este ácido al drenaje o en su caso a “sumideros u hoyos” clandestinos en donde el líquido se filtra indiscriminadamente al subsuelo contaminando los mantos freáticos. Aún más, estas prácticas primitivas hacen que indiscriminadamente el polvo resultado de la evaporación del ácido se disperse con la acción del viento; ya que contiene plomo en polvo y azufre por mencionar algunos compuestos. Este proyecto forma parte de uno más grande que se encargará del reciclado responsable de estos acumuladores, novedoso y revolucionario por ser el primero que reciclará todos los componentes internos para convertirlos en materias primas para su uso, razón suficiente para su justificación en nuestro país.

1.2 Justificación.

Actualmente, en la mayoría de los países los acumuladores de plomo usados se devuelven para que se recicle el plomo. No obstante, teniendo en cuenta que un acumulador ordinario contiene también ácido sulfúrico y varios tipos de plásticos, es posible que el proceso de reciclado llegue a representar un peligro, si no se controla debidamente.

El proceso de reciclado presenta grandes ventajas:

a) Mayor duración de los recursos naturales. Pese a que en todo el mundo existen yacimientos de minerales no descubiertos, todos, en fin de cuentas, son finitos y este límite está relacionado con su ritmo de utilización. De ahí que los procesos de reciclado aumenten la duración de esos yacimientos.

b) Menor costo monetario: La utilización de materiales de segunda fusión permiten lograr economías monetarias porque 1) los procesos son más baratos que el de recuperación de los minerales primarios; 2) se reduce la dependencia de las materias primas importadas; 3) se aprovecha mejor el costo de inversión en equipo, y 4) disminuye la producción de desechos, especialmente los de la extracción primaria;

c) Conservación de energía: Dado que muy pocos metales se encuentran en la naturaleza en formas que permitan su utilización inmediata para los procesos de reciclado, además, permiten la producción de metales con apenas un 25% o menos de la energía utilizada en los procesos primarios. Es más, dado que la mayoría de los procesos primarios de producción de metales requiere procedimientos que utilizan una gran cantidad de energía, que suelen depender de los combustibles fósiles, como ocurre, por ejemplo, en los hornos, los procesos de reciclado constituyen un medio para reducir la contaminación.

Además de estos aspectos, comunes a todos los procesos de reciclado de metales, en el caso del plomo propiamente dicho hay otros factores importantes que hacen que su reciclado sea aún más aconsejable para los efectos de la protección del medio ambiente:

a) Toxicidad para el medio ambiente y la salud humana: Son bastante conocidas las consecuencias de la exposición al plomo para el ser humano o para el medio ambiente.

Por lo tanto, es lógico pensar que la falta de un sistema de reciclado del plomo aumentaría extraordinariamente el riesgo de exposición, ya que los desechos de plomo podrían enviarse hacia destinos no seguros desde el punto de vista ambiental;

b) Amplias posibilidades de reciclado: El hecho de que el plomo tiene un punto de fusión bajo y es fácil afinarlo a partir de chatarra lo hace más reciclable, es decir que resulta relativamente fácil o factible desde el punto de vista técnico aislarlo a partir de la chatarra y reintroducirlo en la corriente de materia prima;

c) Un gran mercado: El mercado del plomo es amplio y, según el país, también lo es un sistema de recolección razonablemente bien organizado de hasta 96% de un solo producto predominante con una vida útil breve y previsible como lo es el acumulador de arranque, iluminación e ignición.

Del análisis que antecede se infiere sin lugar a dudas que destinos tales como vertederos, incineración y otros, no pueden considerarse modalidades de manejo ambientalmente racional de los desechos de plomo no sólo por razones económicas, sino también por razones de salud y ambientales. Reconocido este hecho, los procesos de reciclado se convierten en una respuesta viable al problema desde el punto de vista tecnológico, ya que, aplicados y controlados debidamente, pueden constituir una solución económica práctica y ambientalmente racional. Por lo tanto, el reciclado del plomo se debe considerar la solución óptima al manejo ambientalmente racional de los acumuladores de plomo.

Adentrándonos un poco al tema objetivo de esta propuesta; analizaremos los resultados económicos de factibilidad.

El balance de proceso arroja que la operación en el sistema de fusión utilizando un equipo semiautomático de carga aumentaría la productividad en un 75% del tiempo necesario

para el proceso del sistema de fusión reduciendo el tiempo de servicio de los equipos así como una mayor protección a los operadores de carga que evitaría riesgos por quemaduras, vapores tóxicos entre otras cosas (en la figura 1.2 se muestra una perspectiva del equipo ya desarrollado en la etapa final de esta propuesta para un mejor entendimiento del lector). Las tablas 1.3 análisis del costo de operación y 1.4 de análisis de rentabilidad, ilustrarán lo anterior para su correcta justificación.

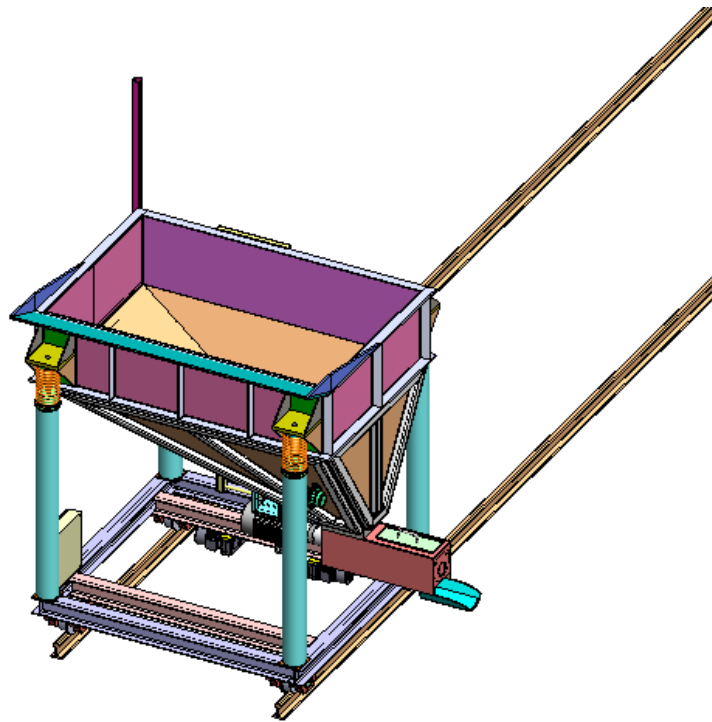


Figura 1.2 Perspectiva del equipo propuesto

En la siguiente tabla de análisis (1.3) podremos observar los costos más representativos del proceso para la fundición del material. Se han separado en la medida de lo posible todo lo que involucra al proceso en general, dichos cálculos se han realizado sin incluir impuestos debido a que en la práctica es más recomendable manejarlos de esta manera para poder realizar deducciones fiscales o ambientales cuando así aplique. La propuesta toma en cuenta sólo los gastos ocasionados por el proceso pero no en sí las ventajas fiscales que estas derivan de utilizar una tecnología que pueda reducir los índices de contaminación y mitigación resultado de mejores prácticas de manufactura.

Al final de la tabla se presenta el resultado del costo del proceso involucrado, gastos representativos de operación y los costos generales. Tomando estos antecedentes contra el equipo que se propone es evidente el resultado esperado justificando con creces la utilización de este equipo en vez de no hacerlo. La carga se mejora así como el tiempo y la ganancia obtenida se pagará en pocos meses.

Análisis actual por dos hornos de fusión		
Tiempo de ciclo de producción por horno	4	hr
Cantidad de cambios en 1 día	6	cambios
Cantidad de hornos	2	Unidades
Cantidad de montacargas	2	unidades
Tiempo de carga de hornos por un montacargas	3	hr
Cantidad de personas para carga de hornos	8	personas/2 hornos
Paro estimado por horno en la carga diferida de fusión en un día (24 horas)	1.50	hr/horno
Total horas-paro por dos hornos	3.00	hr
Ciclos de producción (días de operación)	340	días /año
Costos fijos		
<u>Análisis de costos en montacargas</u>		
Consumo de gasolina para montacargas por día	225.00	litros/día
Consumo de gasolina para montacargas por hora por dos montacargas	18.75	litros/hora
Costo de gasolina	\$ 7.85	mxp/lt
Costo totales de gasolina (6.5 mxp/lt) por montacarga	\$ 294.38	mxp/hr
Gastos de mantenimiento por semestre	\$ 32,000.00	mxp/semestre
Gastos de mantenimiento por hora neta	\$ 7.33	mxp/hr
Gastos de mantenimiento por hora neta dos montacargas	\$ 14.65	mxp/hr
<u>Análisis de costos sistema de fusión</u>		
Costo consumo de gas mxp/hr por horno	\$ 8,864.00	mxp/hr
Gasto real de gas por paro de proceso general en dos hornos por hora	\$ 17,728.00	mxp/hr
Consumo oxígeno por hora por horno (gasto)	\$ 1,454.25	mxp/hr
Consumo de oxígeno por hora en los Hornos de fusión (metros cúbicos/hr en 2 hornos en operación)	\$ 2,908.50	mxp/hr
Costos variables		
No. operadores requeridos	8	operadores/hr
Sueldo de 1 operador	\$ 18.83	mxp/hr
Costos total operadores	\$ 150.64	mxp/hr
Supervisor	1.0	Supervisor/hr
Sueldo de 1 supervisor	\$ 25.67	mxp/hr
Costos supervisor	\$ 25.67	mxp/hr
Ingenieros	1.0	Ingenieros/hr
Sueldo de un ingeniero	\$ 57.05	mxp/hr
Costos ingeniero	\$ 57.05	mxp/hr
Costos variables varios	\$ 15.00	mxp/hr
Costos fijos	\$ 20,945.53	mxp/hr
Costos variables	\$ 248.36	mxp/hr
Análisis de costos por hora de producción actual (Costos fijos+costos variables)	\$ 21,193.89	mxp/hr para producción
Análisis por cantidad de horas perdidas	\$ 63,581.66	mxp/día
Costo real anual por paro de producción en dos hornos	\$ 21,617,764.75	mxp/año
		Significados
		mxp : Pesos mexicanos
		hr: Hora

Tabla 1.3 Análisis de costo de operación

<u>Ahorros estimados con la propuesta de un equipo alimentador para los dos hornos de fusión</u>		
<u>Análisis</u>		
Tiempo de ciclo de producción por horno	4	hr
Cantidad de cambios en 1 día (en 24 horas)	6	cambios
Cantidad de hornos	2	Unidades
Cantidad de montacargas	1	unidad
Tiempo de carga de hornos por un montacargas (antes de la mejora)	3	hr
Cantidad de personas para carga de hornos	3	personas/2 hornos
Paro estimado por horno en la carga diferida de fusión en un día (24 horas)	0.375	hr/horno
Total horas-paro por dos hornos	0.75	hr
Ciclos de producción (días de operación)	340	días /año
<u>Costos fijos</u>		
<u>Análisis de Costos Montacargas</u>		
Consumo de Gasolina para montacargas por día	225	litros/día
Consumo de Gasolina para montacargas por hora por dos montacargas	18.75	litros/hora
Costo totales de gasolina (6.5 mxp/lt) por montacarga	\$ 147.19	mxp/hr
Gastos de mantenimiento por semestre	\$ 30,000.00	mxp/semestre
Gastos de mantenimiento por hora neta	\$ 6.87	mxp/hr
Gastos de mantenimiento por hora neta 1 montacargas	\$ 6.87	mxp/hr
<u>Análisis de Costos Sistema de Fusión</u>		
Costo consumo de gas mxp/hr por horno	\$ 8,864.00	mxp/hr
Gasto real de gas por paro de proceso general en dos hornos por hora mxp/hr	\$ 17,728.00	mxp/hr
Consumo oxígeno por hora por horno, gasto mxp/hr	\$ 1,454.25	mxp/hr
Consumo de oxígeno por hora Horno de fusión m3/hr 2 hornos	\$ 2,908.50	mxp/hr
<u>Costos variables</u>		
No. Operadores requeridos/hr	3	operadores/hr
Sueldo de 1 operador/hr	\$ 18.83	mxp/hr
Costos total operadores mxp/hr	\$ 56.49	mxp/hr
Supervisor	1	Supervisor/hr
Sueldo de 1 supervisor/hr	25.67	mxp/hr
Costos Supervisor/hr	\$ 25.67	mxp/hr
Ingenieros	1	Ingenieros/hr
Sueldo de 1 Ingeniero/hr	\$ 57.05	mxp/hr
Costos Ingeniero/hr	\$ 57.05	mxp/hr
Costos variables varios mxp/hr	\$ 15.00	mxp/hr
Costos fijos	\$ 20,790.56	mxp/hr
Costos variables	\$ 154.21	mxp/hr
Costos alimentador	\$ 64.63	mxp/hr

Tabla 1.4 Análisis de rentabilidad (sección a)

Análisis de Costos por hora de producción actual (Costos fijos+costos variables)	\$ 21,009.39	mxp/hr paro producción
Análisis por cantidad de horas perdidas	\$ 15,757.04	mxp/día
Costo real anual por paro de producción en dos hornos con mejoras	\$ 5,357,394.73	mxp/ año
Gasto real antes de la mejora	\$ 21,617,764.75	mxp/ año
Ahorro real	\$ 16,260,370.03	mxp/ año
Detalle del Análisis de costo de operación del equipo alimentador		
Inversión estimada en el equipo	\$ 2,000,000.00	mxp
Inversión estimada de controlador	\$ 500,000.00	mxp
Total inversión de equipo	\$ 2,500,000.00	mxp totales
Horas de trabajo efectivas de trabajo del alimentador	15	Hr/día
Costo KW-hr en punta 440 VCA	\$ 6.50	mxp Kw-hr
Consumo energético total	25	kw-hr
Consumo real por tiempo de trabajo	375	kw-hr
Costo real mxp/día de energía	\$ 2,437.50	mxp/día
Costo real mxp/hr de energía	\$ 101.56	mxp/hr
Costos de mantenimiento anual	\$ 15,000.00	mxp/año
Costos de mantenimiento por hora	\$ 1.84	mxp/hr
Costos totales de operación	\$ 103.40	mxp/hr
Costo total mxp/día neto	\$ 1,551.01	mxp/día
Costo anual mxp/año	\$ 527,343.75	mxp/año
Costo por hora	\$ 64.63	mxp/hr
Análisis del Retorno de Inversión		
Análisis Real de Ahorro	\$ 16,260,370.03	mxp/año
Inversión real	\$ 3,000,000.00	mxp
ROI (retorno de la inversión)	0.18	años
ROI antes de impuestos	2.21	meses
ROI después de impuestos	2.99	meses

Tabla 1.4 Análisis de rentabilidad (sección b, continuación)

La propuesta del alimentador mejorará en un 75% el costo real del proceso, disminuyendo el trabajo innecesario del sistema junto con una mejora que hace que la inversión inicial del equipo se pague prácticamente en menos de 3 meses considerando una utilidad marginal con impuestos integrados.

La base de este estudio es la aplicación de una metodología para el diseño de la unidad, debido al involucramiento de partes sometidas a la compresión y tensión lo que nos obliga a justificar cada elemento con su respectivo análisis, ya que de otra manera solamente se haría la

descripción de la propuesta en base a la manufactura y construcción, lo cual no es el objetivo de este desarrollo.

1.3 Objetivos.

1.3.1 Objetivo General.

Diseñar, modelar y simular un equipo alimentador de materiales para un sistema de fusión doble con la finalidad de aumentar la eficiencia del proceso de fusión, además de obtener un equipo económico con respecto a los equipos similares disponibles en el mercado. Mencionamos en este apartado que el alimentador estará diseñado para recibir materiales alcalinos de plomo, cobre, estaño o cualquier otro tipo de material que se pueda fundir (principalmente materiales considerados como peligrosos metálicos y no metálicos según la norma mexicana NOM-052-SEMARNAT-1999). Debido a lo abrasivo de algunos materiales procedentes de la chatarra; este alimentador no estaría en condiciones de durabilidad justificada y construcción económica, para lo cual se tendrían que utilizar otro tipo de aceros estructurales como el AISI 1040 comercial para su aplicabilidad en vez de acero inoxidable 316L propuesto.

1.3.2 Objetivos específicos.

- 1.- Determinar los requerimientos especiales del cliente para aplicarlos en las características del equipo por medio de la aplicación de la metodología “diseño para seis sigma”.
- 2.- Proponer un equipo conceptual del alimentador como primera aproximación para su análisis, dimensionamiento y simplificación.
- 3.- Modelar y simplificar el diseño original proponiendo las partes a utilizar realizando la ingeniería de detalle del equipo y modelándolo en “solid works 2010”.
- 4.- Validar el diseño propuesto por medio de la integración de partes, aplicando el software de elemento finito de “solid works” y justificando sus resultados.
- 5.- Proponer el sistema de manufactura general de ensamble para el diseño obtenido, describiendo los costos, procesos y recomendaciones generales para aplicaciones futuras de acuerdo a los permisos otorgados por los derechos de patente de la empresa.

1.4 Alcance

El presente trabajo se enfoca al diseño, modelado y simulación de un equipo alimentador de materiales para el proceso de carga de 2 hornos rotatorios de fusión por medio de un sistema de diseño y simulación especializado.

1.5 Metodología a emplear

DFSS (Diseño para seis sigma): En fechas recientes, el enfoque a los problemas orientados a su solución y maximización de las utilidades han contribuido al desarrollo de técnicas vanguardistas que por medio de la integración de diversas disciplinas detectan las áreas de oportunidad para la mejora de los procesos en general reduciendo los costos innecesarios. Seis sigma es una filosofía que se orienta a eliminar o reducir la variabilidad en los procesos o sistemas, con el fin de reducir los gastos. De manera estructurada, DFSS engloba 5 pasos elementales para la solución de un problema, el cual se enlista en la tabla 1.5 “aplicación de la metodología DFSS en el desarrollo de la tesis” como forma de integración. Más adelante se explicará de manera más detallada cada uno de los pasos de dicha metodología para la correcta interpretación y aplicación en la solución de nuestro problema. Esta tabla solamente muestra los elementos más importantes para solucionar nuestro estudio propuesto y el alcance general considerando que los elementos conformadores del proceso son parte del proceso de la mejora continua.

No utilizaremos otra metodología de las ya existentes debido a que el autor ha conocido este enfoque como “agente black belt” (grado que se otorga por el desarrollo de proyectos aplicando seis sigma en proyecto de mejora de procesos y diseño) desde hace varios años lo cual garantizaría el éxito de la propuesta en cuestión. Todas las metodologías que existen se basan en conceptos muy similares como lo son la mejora continua y el mapeo de procesos. DFSS involucra todas ellas y las explota de manera ordenada y estratificada dando una guía de aplicación bastante robusta para el éxito en el diseño de esta máquina.

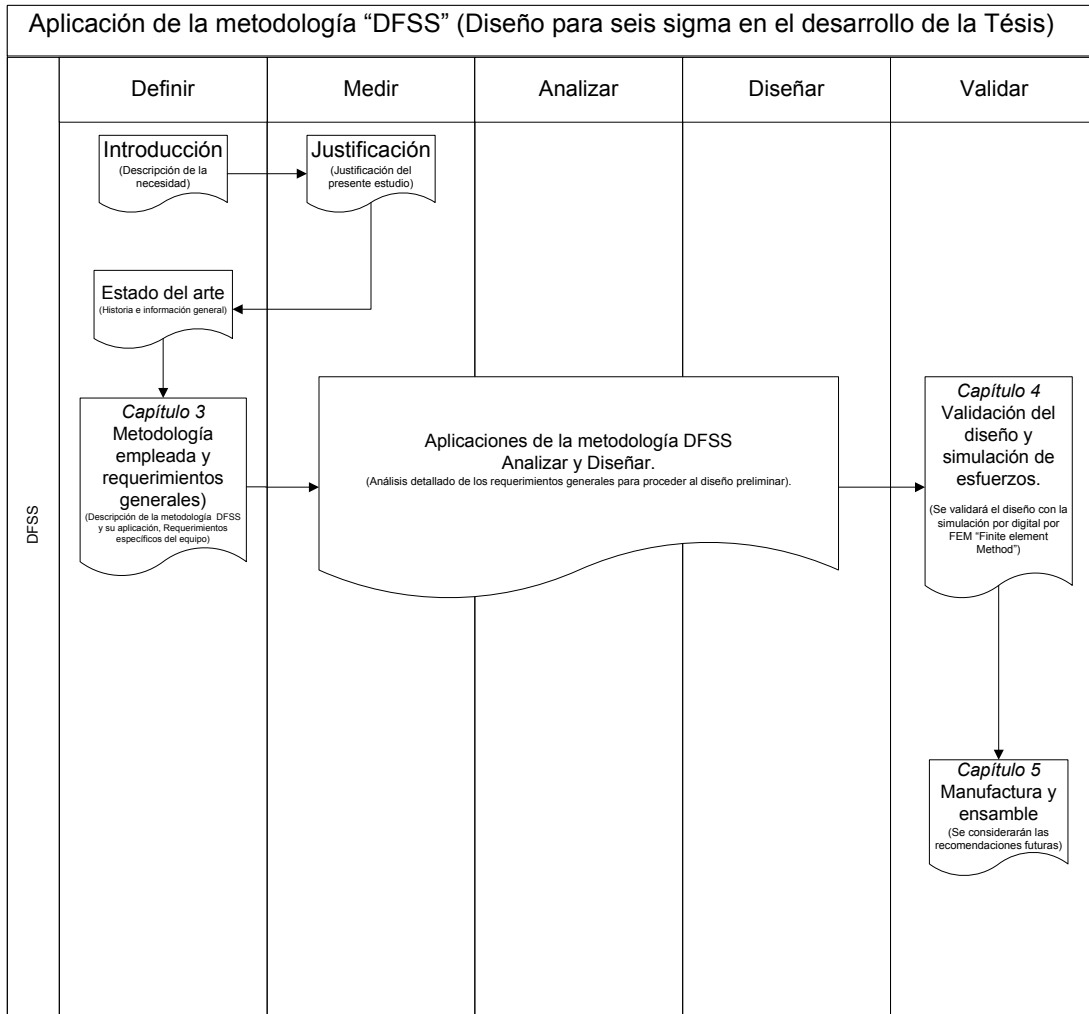


Tabla 1.5 Aplicación de la metodología DFSS en el desarrollo de la tesisⁱⁱⁱ.

1.6 Organización del trabajo

El presente trabajo está integrado por cinco capítulos en los cuales se muestra en su contenido el resultado del desglose de la necesidad hasta su solución completa. Cada sección detalla la información en base a la aplicación de la metodología seis sigma como se verá a continuación:

ⁱⁱⁱ Aplicación de la metodología DFSS, adaptación por Ing. Ricardo García Hernández

Introducción.

En este capítulo se hace referencia a los problemas que se presentan en este proceso de reciclado, estadísticas generales de las baterías en nuestro país y métodos de trabajo actuales de reciclado susceptibles a mejorar. Explicamos brevemente los problemas de salud derivados de la contaminación por el manejo y reciclado imprudente de las baterías, proponiendo los costos y justificaciones del uso de la presente propuesta junto con una descripción de la organización de este trabajo tomando como base la metodología DFSS (design for six sigma).

Estado del Arte.

Explicaremos como se conforma una batería ácida de plomo (BAP) para conocer los elementos principales que la integran, ya que en base a esto, será posible realizar una correcta selección de materiales para el diseño del equipo alimentador, además, se mostrarán los diferentes tipos de equipos alimentadores que se encuentran en el mercado; mencionando características generales y precios aproximados. Aunque existen procesos y equipos disponibles para el manejo de materiales peligrosos como es nuestro caso, se mostrará que nuestra propuesta es más barata, con repuestos comerciales nacionales y de fácil manufacturabilidad si se compara con los equipos disponibles en el mercado.

Metodología empleada y requerimientos generales.

Las oportunidades de mejora al proceso de la planta deberán tener una correcta metodología para su adecuada solución. Aquí describiremos la metodología Diseño para Seis Sigma “DFSS” para su enfoque en la solución del problema y en la validación del diseño. Por medio de esto, procederemos a aplicar las fases de DFSS para el desglose sistematizado de la solución del problema, involucrando el análisis general y económico del proceso, en donde se analizará todo el proceso de trabajo de la planta, en costos, tiempos y manufactura, con los cuales podremos determinar el área con la restricción evidente en la que configuraremos el diseño de nuestro equipo. Así mismo se concentrarán todos los requerimientos del proceso y del cliente para aplicarlos en el desarrollo del diseño conceptual. Tomando en cuenta la información descrita en los capítulos 1 y 2, se definirá la información básica para proceder a realizar el diseño conceptual de la solución. Con todo esto se concentrarán todos los

requerimientos del proceso y del cliente para aplicarlos en el desarrollo del diseño conceptual y del detalle del producto que incluirán las especificaciones del equipo, dentro de la misma sección se realizará una sección importante de la tesis que es el diseño. Se hará la propuesta conceptual del diseño como punto de partida, para la realización del análisis y optimización del equipo, se incluyen los detalles generales junto con los elementos más importantes del análisis por medio del modelado del diseño conceptual para iterar su optimización. La base fundamental para obtener el diseño conceptual parte de la metodología aplicada en la realización del producto interrelacionando el capítulo 3, en donde se define, se mide (cuando es posible o se justifica lo que hoy en día existe), se analiza, se diseña y se valida el diseño propuesto. El presente trabajo parte del supuesto de un diseño “básico” para poder mejorarlo y desarrollarlo a lo largo de los siguientes capítulos hasta obtener un diseño final validado para su manufactura.

Una vez realizado el diseño conceptual se propondrán las piezas que integren el diseño final. Se detallarán las especificaciones más importantes del ensamble y sus componentes y se preparará el modelo final del equipo diseñado para su validación en la siguiente sección. Este capítulo es el resultado del análisis que se aplica en la sección anterior, con esto podemos empezar a realizar el análisis de validación del diseño

Validación del diseño y simulación de esfuerzos.

Se modelará y validará el sistema propuesto por medio del modelado del equipo, simulando el proceso para demostrar la integración de todos los elementos mecánicos y la funcionalidad del mismo utilizando el software de “solid works”. Además de lo anterior se simulará el equipo bajo todas las condiciones específicas del diseño por medio de la utilización de “solid works 2010” por la aplicación de elementos finitos (FEM) con el fin de asegurar la funcionalidad, seguridad y diseño del equipo en un ambiente digital de modelado. Se validarán los datos finales por medio de la aplicación de elementos finitos para cotejar resultados.

Manufactura y descripción de ensamble

En este apartado, se describirá el ensamble y manufactura de la unidad de las partes autorizadas para su descripción debido a los derechos de propiedad intelectual del equipo ya que este es desarrollado internamente en la planta en donde se ocupará.

Resultados y conclusiones

Se revisarán todos los elementos claves de los capitulados tomando en consideración los resultados generales y los beneficios obtenidos incluyendo las recomendaciones para trabajos futuros. Se anexa un CD con la simulación del ensamble del alimentador.

Índice de tablas

Apartado con la información que se ha mostradao a lo largo del la tesis.

Índice de Figuras

Apartado con la información que se ha mostrado a lo largo del la tesis para la descripción de la información.

Bibliografía.

Se adjuntan las referencias utilizadas en este trabajo, con información de internet, libros, congresos, seminarios y de la empresa en la cual se pretende aplicar la solución.

CAPÍTULO 2

ESTADO DEL ARTE

En este apartado se abordan temas que tratan sobre la historia de las baterías ácidas de plomo, su descripción, composición y funcionamiento de las mismas, la aplicación y uso que se les da actualmente así como la explicación de componentes a base de plomo que se encuentran en el mercado. Los alimentadores de materiales (tema principal de nuestro estudio) son descritos también en este apartado.

2.1 Historia de las baterías ácidas de plomo.

Las propiedades físicas y químicas del plomo, a saber maleabilidad y resistencia a la corrosión, ya eran conocidas por las civilizaciones antiguas. En realidad, hace por lo menos 8.000 años que el plomo se extrae y se funde, como lo confirman las piezas que se exhiben en diversos museos, los relatos y otros textos antiguos, incluido el libro del Éxodo, que es parte de la Biblia.

Cuentas de plomo encontradas en la actual Turquía datan de alrededor de 6.500 a.C., y se dice que los egipcios utilizaban el plomo junto con el oro, la plata y el cobre ya en 5.000 a.C., lo que indica que la tecnología de producción de plomo metálico mediante fusión reductiva en presencia de fuentes de carbono se propagó poco a poco desde China hacia el Oriente Medio y desde allí a África durante los milenios quinto y sexto a.C. En el Egipto de los faraones, los compuestos de plomo se utilizaron también en cerámica vidriada, como material de soldadura y para fundirlo en la fabricación de objetos ornamentales. En el Museo Británico se exhibe una figura de plomo encontrada en el templo de Osiris, en la antigua ciudad de Abydos, Anatolia occidental, que data de 3.500 a.C.

Una de las más importantes aplicaciones históricas del plomo fueron los acueductos de Roma. Se fabricaban tuberías de plomo de tres metros de longitud y hasta 30 centímetros. Muchas de ellas, aún en magníficas condiciones, se han descubierto en la Roma moderna y en

Inglaterra. La palabra romana plumbum, que denotaba surtidores de agua y conectores hechos de plomo, dio origen a la palabra inglesa "plumbing" (fontanería) y al símbolo del elemento, Pb. En la época de Constantino había alrededor de 8.000 toneladas de tuberías de plomo en Roma y según una estimación aproximada, la producción de plomo del Imperio Romano llegó en cuatro siglos a 15 millones de toneladas.

Marcus Vitruvius Pollio, un arquitecto e ingeniero romano del siglo I a.C., advirtió sobre los peligros del uso de tuberías de plomo para la conducción de agua y recomendó que se utilizaran en su lugar las de barro. En sus escritos mencionó también la palidez de la piel de los trabajadores de los talleres de plomo de la época, al señalar que los gases que emanaban del plomo fundido destruían "el vigor de la sangre". Muchos creían, no obstante, que el plomo tenía propiedades médicas beneficiosas. Plinio, sabio romano del siglo I d.C., escribió que el plomo podía utilizarse para la eliminación de cicatrices, como linimento o como ingrediente en emplastos para úlceras y para los ojos, entre otras aplicaciones clínicas. Los romanos conocían también la resistencia del plomo a la corrosión, de ahí que la Marina romana fuera una gran consumidora de este metal. En investigaciones submarinas realizadas en el Mediterráneo se descubrieron galerías romanas con bisagras y clavos revestidos de plomo.

Después del período romano y durante la Edad Media, el plomo siguió explotándose y utilizándose. En este período se lograron adelantos en la fabricación de tuberías y en lugar de laminar una hoja de plomo, los fabricantes comenzaron a sumergir en el metal fundido un cilindro en frío con las dimensiones de diámetro interior adecuadas. Pero la fabricación de tuberías no fue la utilización principal de este metal en la Edad Media, se aplicó también para recubrir los techos de las catedrales y edificios, para fabricar material de soldadura, instalar vitrales y con la invención de la imprenta, se encontraron nuevos usos para el plomo.

Es posible que en tiempos muy remotos la gente ya hubiera explorado y probado la electricidad, una batería muy rudimentaria de hace miles de años fue encontrada cerca de Bagdad en 1932, era una batería que contenía un núcleo de hierro insertado en un cilindro delgado de cobre, quizá fue diseñada para almacenar electricidad estática. La historia de esta antigua batería tal vez nunca la conozcamos, pero lo que sí se sabe es que en la antigua Grecia ya

se conocía el efecto que tenía una pieza de ámbar cuando era frotado con otro material: tenía la propiedad de atraer cuerpos ligeros.^a

La historia de la batería es mucho más reciente desde el último siglo XVIII. La causa fue defendida por el trabajo realizado por Luis Galvani a partir de 1780 a 1786. Con sus experimentos Galvani observó que, cuando los pedazos conectados de hierro y de latón fueron aplicados a las ancas de rana, las hicieron moverse; sin embargo, Galvani pensó que el efecto se originó en el tejido de la anca, Galvani había puesto la piedra angular para otros progresos en electricidad “voltaica”.

Alrededor del año 1800, Alejandro Volta (de quien obtenemos el nombre de la unidad de medición de la diferencia de potencial: voltios) profesor de filosofía natural en la universidad de Pavia, construyó el primer aparato conocido que generó corriente continua, lo que hizo fue poner dos pequeños discos del tamaño de una moneda pequeña, uno de plata y el otro de zinc en un recipiente, separados por un material esponjoso como el cuero. Todo este conjunto estaba sumergido en agua salada o en otra solución alcalina; a este conjunto le podemos llamar una pila. Volta después se dió cuenta de que si ponía estas pilas una seguida de otra, unidas por tiras de metal se lograba que el voltaje final fuera mayor.

En 1813, Sir Humphrey Davy conectó una batería gigante en el sótano de la Sociedad Real Británica. Esta batería estaba hecha de 2,000 pares de platinas y tenía el tamaño de más o menos 100 m². Con esta batería realizó muchos experimentos que permitieron un mayor conocimiento de la naturaleza de la electricidad.

Michael Faraday utilizó pilas voltaicas para realizar estudios en electricidad y magnetismo, descubrió que enviando corriente por un conductor, un campo magnético se inducía en un conductor paralelo (el inicio del electromagnetismo). Continuando con sus estudios y experimentos, Faraday descubrió en 1831 que un magneto en movimiento podía generar electricidad en un conductor cercano, de esta manera nació el dinamo.

En los años que sobrevinieron, se inventaron otros medios de producir la electricidad, lo que implicó el uso de electrodos líquidos, los cuales, desarrollados por Bunsen (1842) estaban entre los sistemas más acertados y fueron utilizados durante muchos años.

En 1859, un físico francés, Gaston Planté, descubrió que al ser sumergidos en un electrolito de ácido sulfúrico, los pares de electrodos de óxido de plomo y plomo metálico generaban energía eléctrica y más tarde podían ser recargados. Algunas mejoras técnicas adicionales logradas por otros investigadores llevaron en 1889 a la producción comercial de acumuladores de plomo⁴.

Poco a poco los científicos fueron mejorando la idea original de la batería de Volta y en 1860 George Leclanche de Francia desarrolló la primera batería utilizada ampliamente (la célula de zinc carbón). El ánodo era de zinc y una aleación de mercurio, y el cátodo era un compuesto de dióxido de magnesio y un poco de carbón, ambos: ánodo y cátodo fueron sumergidos en una solución de cloruro de amonio, que actuaba como electrolito. El sistema fue llamado: "la célula mojada", aunque la idea de Leclanche era barata, fue desplazada en 1880 por la célula seca.

La invención de Leclanche, (que era absolutamente pesada) fue mejorada constantemente durante los años siguientes. La idea de encapsular el electrodo negativo y el poste poroso en una taza de zinc, primero fue patentada por J.A. Thiebaut en 1881, pero fue Carl Gassner de Maguncia a quien se le reconoce como creador de la primera célula de batería seca. Antes de 1889 había por lo menos seis baterías secas reconocidas en circulación, la fabricación posterior de baterías, las produjo más pequeñas, más ligeras y el uso del filamento del tungsteno en 1909 creó el ímpetu para desarrollar las baterías para su uso en antorchas.

El enorme crecimiento de los mercados de acumuladores en el siglo XX (que con el tiempo llegaron a consumir el 75% de la producción de plomo del mundo) se produjo a partir del auge de la industria automovilística, en que se encontraron aplicaciones para los acumuladores en los procesos de arranque, iluminación e ignición.

Otro destacado producto de plomo era el tetraetilo de plomo, aditivo de la gasolina inventado en 1921 para resolver problemas de "golpeteo" que se habían hecho habituales con el surgimiento de los motores de alta compresión que funcionaban a altas temperaturas. Poco después de llegar a su auge, 50 años más tarde, la utilización de este compuesto de plomo se redujo al hacerse obligatoria la instalación de convertidores catalizadores en los sistemas de escape de los vehículos de pasajeros, según lo dispuesto en las leyes de protección del medio ambiente. Pese al constante incremento de los usos del plomo en los últimos cinco milenios, el consumo y la explotación de las minas alcanzó un ritmo industrial sólo después del siglo XIX. Se estima que el consumo de plomo desde la Prehistoria hasta entonces difícilmente habrá rebasado los 30 millones de toneladas, mientras que el consumo actual es de alrededor de cinco millones de toneladas anuales.

La producción de baterías aumentó grandemente durante la primera guerra mundial como medio para las antorchas, radios de campo, etc; otras aplicaciones en la producción de la batería incluyen la difusión de radio extensa, que introdujo la radio con pilas en muchos hogares. Pero, fue durante los años del período de entreguerras que el funcionamiento de la batería adquirió importancia, esto fue alcanzado con una mejor selección de materiales y métodos de fabricación. Las baterías son la fuente de energía para millones de aplicaciones del consumidor, de negocios, médicas, militares e industriales en todo el mundo.^b

2.2 Las baterías ácidas de plomo, composición y funcionamiento.

2.2.1 ¿Qué es una batería ácida de plomo (BAP)?

Un acumulador eléctrico o batería es un dispositivo que permite, mediante un proceso electroquímico, almacenar la energía eléctrica en forma de energía química y liberarla cuando se conecta con un circuito de consumo externo. Las reacciones químicas que tienen lugar son reversibles y pueden ser recargadas cuando se conectan los terminales a una fuente de energía externa, pero con polaridad invertida.

La batería de plomo suministra energía a través de las reacciones químicas de oxidación de plomo metálico a sulfato de plomo que ocurre en el ánodo y la reducción de óxido de plomo a

sulfato de plomo que ocurre en el cátodo, utilizando un conductor iónico al que se le denomina electrolito. Mientras la batería se descarga se forma sulfato de plomo en ambos electrodos, cuando se recarga se invierten las reacciones y el sulfato de plomo se transforma nuevamente en plomo y óxido de plomo.

El electrolito es una solución de ácido sulfúrico diluida al 36% (400 g de ácido sulfúrico por litro de agua destilada). En algunas baterías, sobre todas las de bajo peso, como pueden ser las utilizadas en los sistemas de respaldo UPS, el electrolito se encuentra melificado (sistema encapsulado en gel).

Los componentes principales de una batería de plomo de acuerdo a la figura 2.1 “partes básicas de una batería” son:

- Placas positivas (que son láminas de plomo metálico) y las placas negativas (que son rejillas de plomo metálico recubiertas por una pasta de óxido de plomo). La reacción química que ocurre cuando interviene sólo un par de placas produce un potencial de 2V. Si se conectan varios pares de placas en serie el voltaje total del acumulador aumenta (en el caso de una batería de automóvil se conectan 6 pares en serie produciendo un voltaje de 12V). Las placas se colocan consecutivamente y aisladas entre sí por separadores constituidos generalmente con fundas de polietileno de alta densidad y algunas de PVC.
- El contenedor o caja es generalmente de polipropileno y en algunos casos de ebonita (caucho endurecido).
- El electrolito, constituido por ácido sulfúrico diluido (Concentraciones de H_2SO_4 del 20% al 40% con el resto en agua).

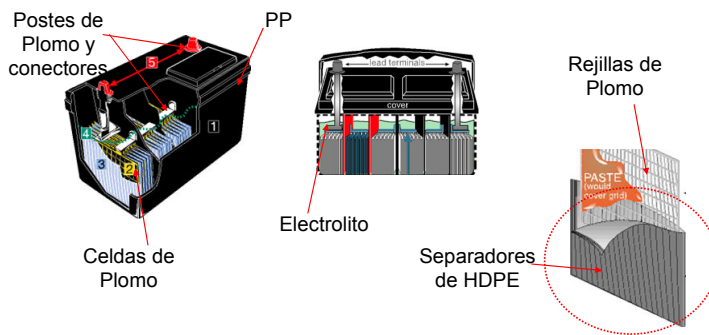


Figura 2.1 Partes básicas de una batería.^c

Según la aplicación, las baterías pueden clasificarse en:

- Baterías para arranque: como son las utilizadas en automóviles, camiones, motocicletas, tractores, embarcaciones o aeronaves.
- Baterías de tracción: las utilizadas para transportar cargas como los montacargas, carritos de golf, transporte de equipaje en aeropuertos, automóviles eléctricos.
- Baterías estacionarias: que se utilizan como respaldos en sistemas de alimentación interrumpida como las telecomunicaciones, arrancadores de planta, sistemas de UPS, etc.

Las baterías pueden tener pesos desde 0.5 Kg (como las de respaldo de alimentación ininterrumpida de sistemas de seguridad) hasta 20 Kg (como son los grandes bancos de baterías estacionarias). Las de mayor consumo en número son las baterías de automóviles que pesan generalmente entre 12 y 19 Kg. La composición en peso promedio de los componentes de una batería de plomo nueva y una batería agotada se mantiene. El agotamiento de la batería se produce debido a que las placas se contaminan cada vez más con sulfato de plomo durante la descarga. Esto tiene como consecuencia la inhibición de las reacciones químicas que ocurren en las placas de óxido de plomo, impidiendo una nueva recarga. De esta forma el acumulador queda agotado, transformándose en un residuo. En la tabla 2.1 se presentan los porcentajes típicos de los componentes de una batería así como un corte esquemático en la figura 2.1 y un detalle interior de una batería en la figura 2.2.

<i>Composición en peso de una batería ácida de plomo</i>
65-75% de plomo (Pb, PbO, PbSO ₄)
15-25% Electrolito
5% Separadores de plástico
5% Caja de plástico

Tabla 2.1 Composición típica en peso de una batería⁵.

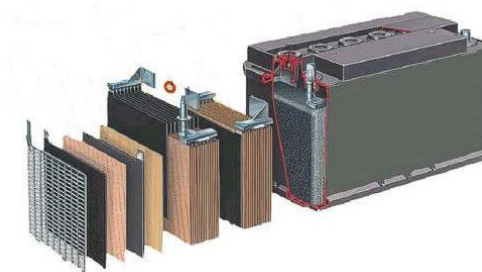


Fig. 2.2 Detalle interior de una batería.⁶

Los acumuladores de plomo están constituidos por dos electrodos de plomo, de manera que, cuando el aparato está descargado, se encuentra en forma de sulfato de plomo (II) (PbSO_4) incrustado en una matriz de plomo metálico (Pb); el electrolito es una disolución de ácido sulfúrico, su funcionamiento es el siguiente:

Durante el proceso de carga inicial, el sulfato de plomo (II) se reduce a plomo metálico en el polo negativo, mientras que en el ánodo se forma óxido de plomo (IV) (PbO_2). Por lo tanto, se trata de un proceso de dismutación. No se libera hidrógeno, ya que la reducción de los protones a hidrógeno elemental está cinéticamente impedida en una superficie de plomo, característica favorable que se refuerza incorporando a los electrodos pequeñas cantidades de plata. El desprendimiento de hidrógeno provocaría la lenta degradación del electrodo, ayudando a que se desmoronasen mecánicamente partes del mismo, alteraciones irreversibles que acortarían la duración del acumulador.

Durante la descarga se invierten los procesos de la carga. El óxido de plomo (IV) se reduce a sulfato de plomo (II), mientras que el plomo elemental se oxida para dar igualmente sulfato de plomo (II). Los electrones intercambiados se aprovechan en forma de corriente eléctrica por un circuito externo.

En la descarga, baja la concentración del ácido sulfúrico, porque se crea sulfato de plomo (II) y aumenta la cantidad de agua liberada en la reacción. Como el ácido sulfúrico concentrado tiene una densidad superior a la del ácido sulfúrico diluido, la densidad del ácido puede servir de indicador para el estado de carga del dispositivo.

No obstante, este proceso no se puede repetir indefinidamente, porque, cuando el sulfato de plomo (II) forma cristales muy grandes, ya no responden bien a los procesos indicados, con lo que se pierde la característica esencial de la reversibilidad. Se dice entonces que el acumulador se ha sulfatado y es necesario sustituirlo por otro nuevo. Los acumuladores de este tipo que se venden actualmente utilizan un electrolito en pasta, que no se evapora y hace mucho más segura y cómoda su utilización^d.

2.2.2 Componentes de una BAP.

Rejilla. La rejilla de aleación de plomo es un marco mecánico o soporte para el material activo (PbO_2 ó Pb) de las placas y conductor de la corriente, desde éstas hasta los materiales activos. La distribución de la corriente debe ser uniforme a través de la masa de material activo, ya que de otra manera, el material activo se endurecería en forma irregular y el resultado sería una utilidad deficiente y la reducción de la vida de la placa.

La rejilla debe poseer suficiente dureza para prevenir el daño o la distorsión durante la prueba y pegado de la placa y las operaciones de fabricación del acumulador; además, debe ser resistente a la corrosión, ya que puede existir una interrupción de la corriente.

Material de la rejilla. La aleación de plomo conteniendo antimonio (2-12% peso) ha encontrado una amplia aceptación como material de rejilla. El antimonio retarda el aumento de la rejilla positiva y la corrosión y migra de la aleación de la rejilla positiva dentro de la pasta positiva (PbO_2) y altera la morfología de la pasta. El resultado es un incremento en las características del ciclo de adhesión de la pasta, prolongando de este modo, el período de vida del acumulador. La selección apropiada de la aleación de plomo depende de la aplicación y uso

del acumulador de ácido-plomo.

Fabricación del óxido de plomo. Los materiales activos para las placas positivas (PbO_2) y negativas (Pb) son preparados a partir de óxidos de plomo en combinación con plomo metálico finamente dividido. El óxido de plomo (PbO) usado en placas de acumuladores existe en dos formas cristalinas, la forma ortorrómbica amarilla y en forma tetragonal roja. El óxido rojo (Pb_3O_4) se utiliza en algunas ocasiones en la fabricación de acumuladores, pero su uso está disminuyendo. El último material activo de la placa positiva (dióxido de plomo PbO_2) nunca se adhiere directamente sobre la rejilla de la placa, debido a que la fabricación de la placa en esta forma vertería su material activo después de que la placa se haya secado o después de pocos ciclos del acumulador.

Pasta. La placa positiva (PbO_2) se forma a partir del óxido de plomo (PbO), el cual se mezcla en algunos casos con 20% en peso de plomo rojo (Pb_3O_4) (para lograr el paso de formación), ácido sulfúrico (40 - 42% en peso), fibras (para facilitar el manejo del plato después de la etapa de pegado), y agua hasta que la pasta tenga la consistencia apropiada para la aplicación a la rejilla.

Separadores. Para prevenir el contacto de la placa positiva y negativa, se sitúa un separador entre ellos. Estos separadores son usualmente en forma de hojas y se fabrican comúnmente de materiales como papel, plástico o vidrio. Como el ácido sulfúrico debe pernear a través del separador, éste debe ser de consistencia porosa.

Ácido Sulfúrico. La solución de ácido sulfúrico debe elaborarse con un enfriamiento adecuado, ya que el proceso de dilución es altamente exotérmico. Cada fabricante selecciona una concentración específica de ácido sulfúrico que cumpla con el requisito del rendimiento del acumulador y de la corrosión de las rejillas de plomo.

Plomo (Pb): Metal pesado (densidad relativa o gravedad específica, de 11.4 a 16 °C), no tiene olor ni sabor especial, de color grisáceo, con aspecto brillante cuando se corta, al ser expuesto al aire se oxida rápidamente lo cual se denota a través del tono mate que adquiere. Muy

dúctil, maleable y resistente a la corrosión, y pobre conductor de la electricidad, son características que lo hacen un elemento de amplia aplicación en metalurgia y electricidad; número atómico 82, masa atómica 207.19 g/mg, densidad 11.4 g/ml, funde a 327 °C y hierve a 1,725 °C °.

Aunque resiste la acción del ácido sulfúrico y clorhídrico, se disuelve con facilidad en ácido nítrico concentrado caliente y ácidos orgánicos (cítrico, acético), originándose sales solubles. Es 11 veces más denso que el agua, se obtiene de la galena (sulfuro de plomo) que es la forma más abundante de este elemento en la naturaleza y se encuentra generalmente asociada a diversos minerales de zinc y en pequeñas cantidades, con cobre, cadmio y hierro, entre otros.

La mayor parte de las emisiones de plomo hacia la atmósfera proviene de actividades como la minería, la producción de materiales industriales y de la quema de combustibles fósiles.

2.2.3 Aplicaciones del plomo y descripciones generales.

El plomo tiene muchas aplicaciones. Se usa en la fabricación de baterías, municiones, productos metálicos (soldaduras y cañerías) y en dispositivos para evitar irradiación con rayos X. Entre sus principales usos se encuentran los siguientes:

- Antidetonante en gasolinas
- Fabricación de baterías
- Producción de municiones
- Fabricación de soldaduras
- Producción de pinturas
- Vidriado de utensilios de barro
- Tanques de almacenamiento
- Protección contra radiaciones ionizantes “g” y “x”, en computadoras, televisores y equipo médico (RMN: Resonancia magnética neuronal)
- Soldaduras para equipo de cómputo
- Cerámicas para tecnología de ultrasonido
- Lentes de alta precisión para láser y fibras ópticas

Industrialmente, sus compuestos más importantes son los óxidos de plomo y el tetraetilo de plomo, éste último forma aleaciones con muchos metales y, en general, se emplea en esta forma en la mayor parte de sus aplicaciones. Todas las aleaciones formadas con estaño, cobre, arsénico, antimonio, bismuto, cadmio y sodio tienen importancia industrial. Los compuestos de plomo son de dos clases: inorgánicos y orgánicos.^f

Los inorgánicos incluyen a las sales y a los óxidos, los más destacados son:

- Óxidos: Litargirio (PbO) o protóxido de plomo, bióxido de plomo (PbO_2), minio (Pb_2O_4) u óxido de plomo rojo, carbonato de plomo, cromato de plomo, arseniato de plomo, sulfato de plomo, sulfuro de plomo y antimoniato de plomo.

Entre los compuestos orgánicos se encuentran:

- Acetato de plomo, tetraetilo de plomo, estearato de plomo y naftenato de plomo.

A continuación se presenta una breve descripción de cada uno de ellos y sus principales usos apareciendo según el grado de importancia.

-Monóxido de plomo (PbO): Conocido también como litargirio, se usa principalmente en acumuladores, pinturas, vidrio y productos de cerámica. Puede formarse naturalmente a partir del plomo y sus compuestos en la atmósfera, por lo que una fuente de emisiones de plomo es una fuente potencial de monóxido de plomo.

-Dióxido de plomo (PbO_2): Este compuesto presenta la característica de riesgo de fuego al entrar en contacto con materiales orgánicos, y de reacciones explosivas en contacto con diversos compuestos inorgánicos. Se utiliza en los electrodos de las baterías, como agente oxidante durante la fabricación de tintas, en conjunto con fósforo amorfo como superficie de ignición de los cerillos y juegos pirotécnicos y en la fabricación de pigmentos.

-Minio u óxido de plomo rojo (Pb_2O_4): Se usa principalmente en pinturas anticorrosivas

para acero y en acumuladores. También se utiliza en vidrio para fibras ópticas, en composiciones de polímeros eléctricamente conductivos, lubricantes, pigmentos para hules y para la producción de dióxido de plomo y tetracetato de plomo.

-Cromato de plomo (CrO_4PbOPb): El cromato de plomo es un precipitado amarillo brillante que se obtiene al mezclar disoluciones de una sal de plomo y de cromato o dicromato potásico. Conocido con el nombre de “amarillo de París” o “amarillo de cromo”; se emplea para el estampado de tejidos de algodón. El “amarillo de Colonia” es un color de pinturas que se prepara calentando sulfato de plomo con una disolución de dicromato potásico. El cromato básico de plomo, CrO_5Pb_2 , es un polvo rojo que se forma cuando se hace actuar una disolución fría de sosa cáustica sobre el cromato normal o también mezclando cromato y óxido de plomo con agua. Es un pigmento importante para pinturas, conocido en el comercio con los nombres de “rojo de cromo”, “anaranjado de cromo”, “rojo Derby” y “rojo chino”; y se utiliza en pigmentos de pinturas industriales, pinturas de aceite y en análisis químicos de sustancias orgánicas.

-Arseniato de plomo ($AsHO_4Pb$): Se produce por la reacción del óxido de plomo con una dispersión acuosa de pentóxido de diarsénico, sus aplicaciones principales se encuentran en la agricultura, como insecticida en huertos de manzanas y herbicidas en césped. En Estados Unidos su uso ha sido prohibido por la EPA (Environmental Protection Agency).

-Carbonato de plomo (CO_3Pb): Se fabrica añadiendo una solución de bicarbonato de sodio al nitrato de plomo. En la naturaleza se forma cuando el plomo elemental es liberado a la atmósfera, por lo que cualquier fuente de plomo es una fuente potencial de carbonato de plomo. Como tal, el carbonato de plomo tiene aplicaciones industriales limitadas, se usa como catalizador en la polimerización del formaldehído y para mejorar la adherencia del policloropreno a metales y en mangueras reforzadas con cables. Sin embargo el dihidroxicarbonato de plomo, que contiene un 66% de carbonato de plomo es muy utilizado comercialmente.

-Sulfato de plomo ($PbSO_4$): Se usa en la fotografía, como estabilizador en construcciones de adobe y en sustitución del plomo blanco como pigmento. Además se utiliza en baterías

galvánicas, en litografía y barnices de secado rápido; se conoce también como “blanco de Mulhouse” o “pigmento blanco 3”.

-Antimoniato de plomo (SbO_3) Pb_9H_2O : Es un sólido blanco que se forma mediante adición de una disolución de ácido antimónico a otra de acetato de plomo; se utiliza como color para pintura y también como colorante del vidrio y de la porcelana; se conoce como amarillo de Nápoles.

-Sulfuro de plomo (PbS): Se presenta de manera natural en el mineral galena, y su presencia en el medio ambiente se debe principalmente a los procesos de minería y en el manejo del mineral; se utiliza en cerámica, semiconductores y detectores infrarrojos, celdas fotoconductoras y como catalizador para remoción de mercaptanos de los destilados del petróleo.

-Acetato de plomo ($C_4H_6O_4Pb$): Anteriormente era utilizado en soluciones acuosas muy diluidas como astringente para los ojos y en cataplasmas y lavados para el tratamiento de la inflamación por contacto; es sumamente venenoso; se conocía también como “sal de Saturno” y “azúcar de plomo”; se utiliza principalmente en la manufactura de barnices, pigmentos de cromo, tintes para el cabello, pinturas antioxidantes y como reactivo analítico; se fabrica por medio de la disolución del monóxido de plomo o del carbonato de plomo en ácido acético concentrado. Comercialmente se encuentra como acetato de plomo trihidratado.

-Tetraetilo de plomo (CH_3CH_2) Pb : La producción de este compuesto está dirigida principalmente a su uso como aditivo de la gasolina por ser un agente antidetonante, por lo tanto, la exposición a este compuesto puede ocurrir durante la síntesis, manipulación y transporte de la gasolina. Existen diversas formas para fabricarlo, sin embargo, a partir de 1974 su producción ha disminuido considerablemente para ser reemplazado por el metil-terbutil eter (MTBE).

-Estearato de plomo Pb ($C_{18}H_{35}O_2$) $_2$: Junto con el estearato de plomo dibásico se utiliza para ayudar a la estabilidad térmica de compuestos de cloruro de polivinilo.

-Naftenato de plomo: Es un componente de numerosas grasas y aceites de uso industrial.

2.3 Cargadores y alimentadores de materiales.

2.3.1 Alimentadores en el mercado

Como reseña histórica, el hombre desde sus inicios (entendiendo como hombre a un ser con capacidad racional), ha tratado de dominar las fuerzas de la naturaleza. Para ello, ha debido aprender a construir y utilizar artefactos ajenos a él.

Por citar algunos ejemplos; en la lucha entre pueblos prehistóricos, las armas rústicas eran comunes (según afirman investigaciones recientes), compuestas fundamentalmente por piedras y huesos. Luego, los primeros esfuerzos de construcción de diques de tierra y zanjas de irrigación, usados para la agricultura, exigieron la utilización de herramientas, tales como los arados, y azadones. Hasta que la construcción de caminos no llegó a ser un arte de gran desarrollo (durante la era del imperio Romano), no se reconoció verdaderamente el valor de la buena utilización de nuevas máquinas y técnicas. Los caminos de Roma, que todavía se usan fueron construidos con atención esmerada a las condiciones de subsuelo y con una base de grava y arcilla bien apisonada. Así, quien haya de trabajar diariamente con máquinas herramientas habrá de plantearse cuestiones continuamente y de resolver problemas relativos a la herramienta, a la máquina o al trabajo. Las máquinas herramienta modernas, exigen para su racional utilización en la explotación un manejo seguro y profundos conocimientos técnicos.

Una máquina es cualquier artefacto capaz de aprovechar, dirigir o regular una forma de energía para aumentar la velocidad de producción de trabajo o para transformarla en otra forma energética. Las máquinas son dispositivos que se usan para cambiar la magnitud y dirección de aplicación de una fuerza. La utilidad de una máquina simple (palanca, cable, plano inclinado, rueda) es que permite desplegar una fuerza mayor que la que una persona podría aplicar solamente con sus músculos, o aplicarla de forma más eficaz. La relación entre la fuerza aplicada y la resistencia ofrecida por la carga contra la que actúa la fuerza se denomina ventaja teórica de la máquina.

Debido a que todas las máquinas deben superar algún tipo de rozamiento cuando realizan su trabajo, la ventaja real de la máquina siempre es menor que la ventaja teórica, combinando

máquinas simples se construyen máquinas complejas. Con estas máquinas complejas, a su vez, se construye todo tipo de máquinas utilizadas en la ingeniería, arquitectura y construcción en todo ámbito de nuestras vidas. Las máquinas también han posibilitado al hombre, el control de las fuerzas del viento, de los combustibles y del agua. Sin máquinas, el hombre viviría aún en estado primitivo y no habría podido alcanzar ninguna forma de progreso. Hay que tener en cuenta que una máquina nunca puede desarrollar más trabajo que la energía que recibe y que, a igualdad de potencia, a velocidades mayores corresponden fuerzas menores, y viceversa. Una máquina simple no tiene fuente productora de energía en si, por lo tanto no puede trabajar a menos que se le provea de ella.

Los cargadores de material son prácticamente de una tecnología nueva en esencia, ya que estos, desde inicios de la historia se han ocupado para el suministro de partes o materiales, pero el funcionamiento más elaborado se ha realizado a partir de los sistemas de automoción, los cuales han ido incorporando más elementos de control para el óptimo funcionamiento de dichos equipos.

A medida de que las máquinas han evolucionado, también lo han hecho las diferentes necesidades que el hombre ha tenido a lo largo de su historia, por tal razón, las necesidades generales para ayudarse en sus actividades cotidianas han detonado la inventiva racional del ser humano, colocando máquinas de diferentes conceptos de trabajo, hasta equipos generales para la manufactura de un bien común.

Los cargadores alimentadores de material, han tenido su desarrollo muchos años atrás, donde se presentan acueductos de transporte de agua (sistemas con declives para forzar el traslado del agua desde el pozo hasta el lugar de consumo), hasta las bandas de vapor mecanizadas en las líneas de manufactura de productos.

Sin embargo, las necesidades de estas no se han visto mermadas, ya que en la actualidad se requieren sistemas que puedan mover materiales, y a su vez, alimentar estos como materias primas o productos finales en infinidad de aplicaciones.

Para tener una idea clara de los equipos cargadores que se encuentran en el mercado, mencionaremos algunos de manera breve:

Alimentadores electromecánicos: Los alimentadores electromecánicos se utilizan fundamentalmente para extraer o dosificar con un caudal fijo el producto a manipular. No obstante, mediante la conexión de los vibradores de accionamiento a través de un variador de frecuencia, se pueden regular. Pueden encontrarse en el rubro de vibrantes o no vibrantes dependiendo la aplicación, los rangos de materiales a manejar son diversos ofreciendo adaptabilidad para manejo de materiales corrosivos. Estos equipos utilizan bandas transportadoras, canjilones, entre otros sistemas (ver figura 2.3)



Fig. 2.3 Alimentador electromecánico^g.

Alimentadores teleféricos: Equipos de gran tamaño y extensión que se utilizan para alimentar material en un acceso difícil por medio de extensores giratorios y sistemas de mando articulado.



Fig. 2.4 Alimentador teleférico^h.

Alimentadores Magnéticos: Equipos dosificadores en pequeña escala, fáciles de utilizar

pero no tienen la capacidad de alimentar equipos en gran escala; se utilizan en alimentaciones precisas de pequeños caudales, en sistemas de regulación continua principalmente para la industria de alimentos (ver figura 2.4)

Alimentadores vibratorios: Estos sistemas son los más completos del mercado, y los que la mayor parte de las empresas deciden adquirir, el motivo se debe a que el sistema no permite que el material se “pegue” a las paredes del equipo, ocasionando paros innecesarios para “desatascarlos”. La desventaja radica en el precio de adquisición el cual es bastante elevado, llegando a costos de 3 a 5 millones de pesos en promedio más inversión en los sistemas de traslado general (figura 2.5).

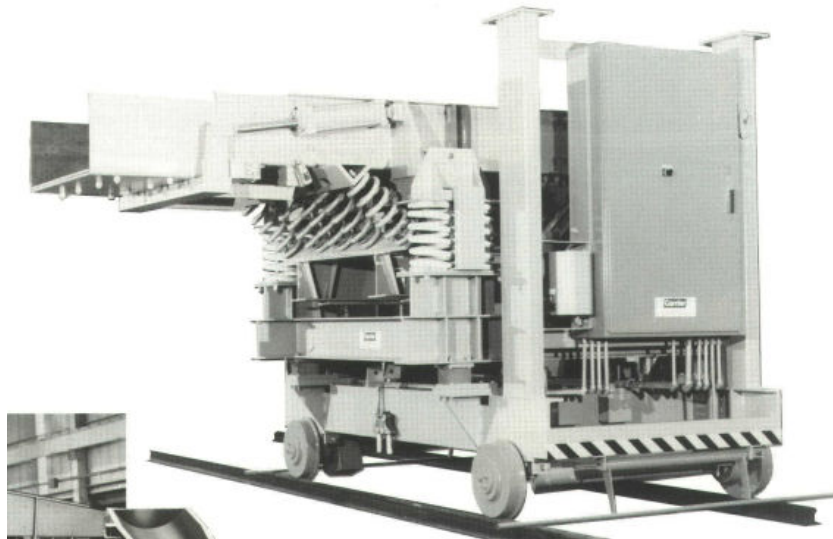


Fig. 2.5 Alimentador vibratorio⁷

La realidad actual en el uso del cambio de la alimentación manual en los procesos hasta la utilización de equipos semi automatizados, radica en la versatilidad y economía a largo plazo de la inversión de estos sistemas. La naturaleza de los equipos cargadores ha tenido una aplicación reciente en sistemas de minería, alimentos, fundición, manejo de materiales peligrosos, reciclado, extracción, llenado y transporte, entre muchos otros.

CAPÍTULO 3

METODOLOGIA EMPLEADA Y REQUERIMIENTOS GENERALES

En esta sección se definirá la metodología que se empleará, de la misma manera realizaremos la descripción y aplicación de la misma en los capítulos siguientes empezando con la definición, medición, análisis y diseño como pilares del desarrollo para especificar y definir completamente el equipo.

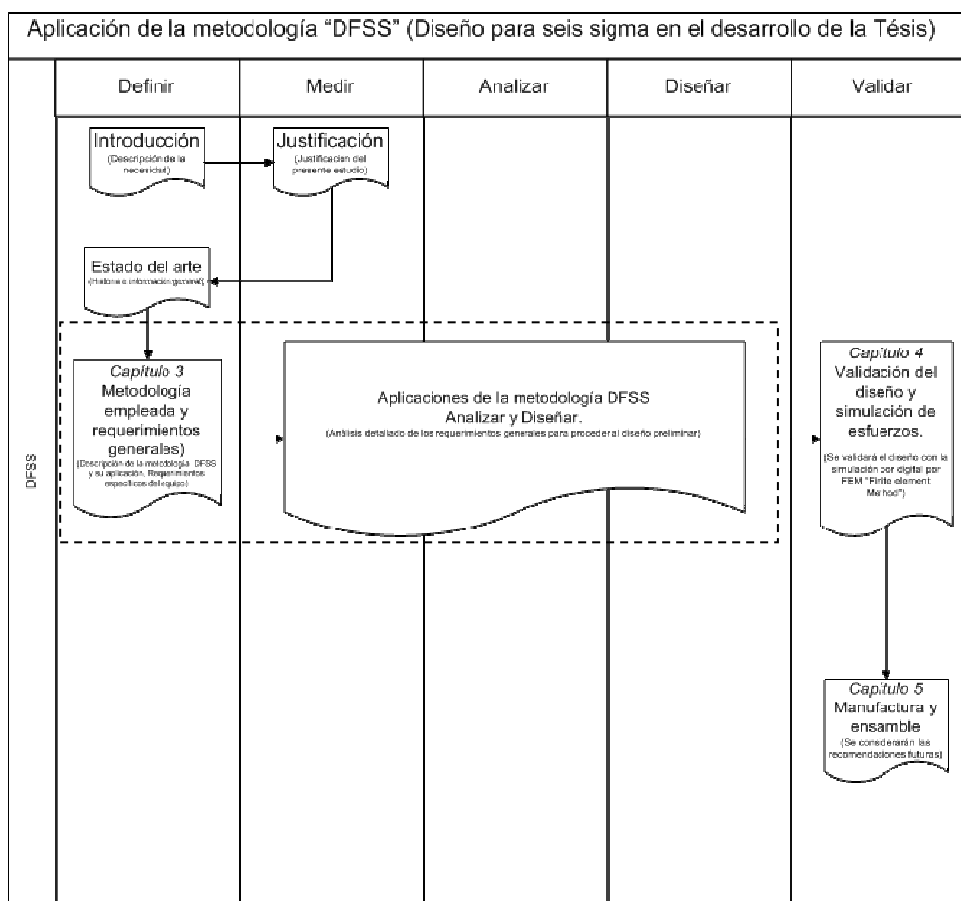


Tabla 1.5 Aplicación de la metodología DFSS en el desarrollo de la tesis.

3.1 Introducción de la metodología Design for Six Sigma (DFSS).

Es importante que para el correcto análisis del problema presentado, se deba escoger una metodología adecuada para el éxito de la solución. La metodología Six Sigma (seis sigma) se

basa principalmente en el enfoque del proceso para determinar la variabilidad presentada en términos económicos para la mejora.

En los últimos años se ha dado un cambio radical en las reglas del juego en los diferentes sectores empresariales y en donde ha sido preciso recorrer un largo camino en el que la calidad, la innovación y la mejora siempre han estado presentes, precisamente, la calidad, entendida como el oído atento que escucha las necesidades del cliente en su propia voz, para después entregarle lo que pide de acuerdo con sus expectativas y consiguiendo su máxima satisfacción, ha tenido un papel protagonista, de manera pues que la calidad es importante no solo en los productos y servicios que se ofrecen, sino que también en la manera de gestionar.

Cualquier compañía, ya sea implícita o explícitamente, dispone de sistemas que le permiten la detección e implementación de mejoras. La correcta elección de la metodología de mejora, se torna, pues, fundamental. La variedad de tecnologías para implementar programas de mejora es verdaderamente amplia; entre las metodologías más destacadas por sus excelentes resultados se encuentra Seis Sigma, implementada por primera vez en Motorola, en los años ochenta.

A partir de su comienzo Seis Sigma ha ayudado a compañías líderes a ahorrar millones de dólares y a satisfacer a sus clientes. Entre los casos de éxito más sonados se encuentran General Electric, Allied Signal, Telefónica, Sony, Polaroid, Kodak, Dow Chemical, FedEx, Dupont, NASA, Lockheed, Bombardier, Toshiba, IBM, J&J, Ford, ABB, Black & Decker, Texas Instruments, Navistar, entre otras.

Seis Sigma puede definirse desde muchas perspectivas, como estrategia, filosofía, metodología, herramienta y si bien es cierto que Seis Sigma tiene un poco de todas estas definiciones, una manera muy completa de definirla es como un sistema completo y flexible para conseguir, mantener y maximizar el éxito en los negocios. Seis Sigma funciona especialmente gracias a una comprensión total de las necesidades del cliente, del uso disciplinado del análisis de los hechos y datos, y de la atención constante a la gestión, mejora y reinención de los procesos empresariales.

El objetivo principal de Seis Sigma es que intenta batir un enemigo de los procesos: la variabilidad, de manera pues, que facilita la creación de una cultura de muchas formas, pero quizás la más relevante sea la lucha contra la variabilidad de los procesos. Muchas empresas definen sus indicadores internos en términos de valores medios, pero si no se obtiene ninguna información adicional del proceso es posible que un gran número de clientes estén esperando por mucho más tiempo mientras que a otros se les está atendiendo sumamente rápido. Los valores medios deben conocerse pero es más importante conocer datos precisos sobre la variabilidad de los procesos. Hay que tener en cuenta que la variabilidad es una clara oportunidad de mejora, si se consigue responder a preguntas como ¿qué hacemos diferente en los casos que nuestros procesos están muy alejados de la media?. Un análisis detallado de esos casos permitirá implantar mejores prácticas en todo el proceso y obtener resultados de forma inmediata.

Los proyectos Seis Sigma se desarrollan siguiendo las cinco fases siguientes, en lo que se denomina ciclo DMAIC: Definición, Medición, Análisis, Mejora (Improvement) y Control. En la etapa de *definición*, se identifican los posibles proyectos seis sigma, que deben ser evaluados por la dirección para optimizar la utilización de recursos, también se asigna el equipo que dará seguimiento a los proyectos. La *medición* consiste en la caracterización del proceso, identificando los requisitos claves del cliente, las características clave del producto y los parámetros que afectan al proceso. En la tercera fase, llamada *análisis*, el equipo analiza los datos de resultados actuales e históricos, se desarrollan y se comprueban hipótesis sobre las posibles relaciones causa-efecto, utilizando herramientas estadísticas. En la fase de *mejora*, el equipo trata de predecir, mejorar y optimizar el funcionamiento del proceso. En la última fase del ciclo Seis Sigma, *control* se diseñan y documentan los parámetros necesarios para asegurar que lo conseguido mediante el proyecto se mantenga una vez que se hayan implantado los cambios.

Para las etapas de diseño en especial se utilizará la metodología DFSS (Design for Six sigma), diseño para Seis Sigma, que se desglosa en las etapas de Definir, Medir, Analizar, Diseñar y Verificar. El diseño involucra el análisis de las alternativas, iteración de resultados y la verificación de la validación del modelo propuesto.

Es importante definir claramente que la metodología DMAIC y DFSS son muy similares en tanto que la primera está enfocada al proceso (ya existente) y la segunda al diseño (propuesta de un nuevo producto, ver figura 3.1).

Algunos ejemplos de las interpretaciones que se le han dado a seis sigma se enumeran a continuación como una manera de relación por número de “sigmas” de desviación (tabla 3.1).

<u>Sigma</u>	<u>Ortografía</u>	<u>Dinero</u>	<u>Tiempo</u>
3σ	1.5 palabras incorrectas por página en un libro	\$ 2.7 millones de pasivos por 100 millones de activos	3 ½ meses por siglo
4σ	1 palabra incorrecta por 30 páginas en un libro	\$ 63.000 en pasivos por cada 100 millones en pasivos	2 ½ días por siglo
5σ	1 palabra incorrecta en un juego de enciclopedias	\$570 en pasivos por cada 100 millones en pasivos	30 minutos por siglo
6σ	1 palabra incorrecta en los libros de una librería pequeña	\$2 en pasivos por cada 100 millones de activos	6 segundos por siglo

Tabla 3.1 Ejemplos de interpretaciones Seis Sigma⁸.

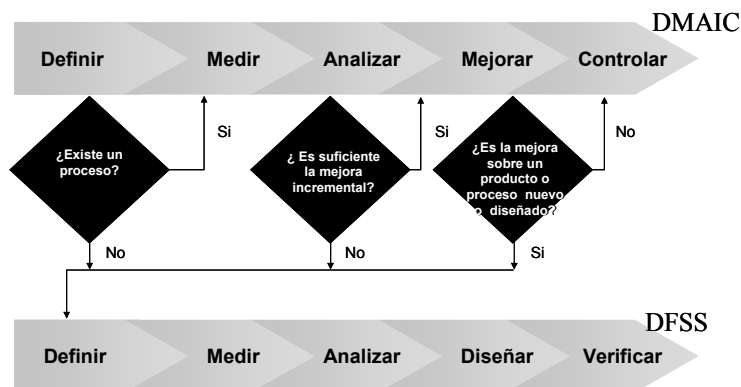


Figura 3.1 Fases de la Metodología DMAIC contra DFSS.⁹

Una de las principales cualidades de Seis Sigma es el empeño por conseguir una escrupulosa definición del problema a resolver, así como su verdadera causa raíz. Se plantea pues, de esta manera una nueva forma de enfocar la mejora, que se plasma en dos de sus pilares fundamentales: El beneficio económico y la calidad percibida por el cliente.

De manera que la calidad puede llegar a ser un negocio rentable, no solo en la forma tradicional de mejora de los servicios y de la imagen exterior, sino directamente con un fuerte impacto en la cuenta de resultados.

Entre los beneficios más notables que se logran con la implementación de Seis Sigma se encuentran la reducción de costos, mejora de la productividad, aumento de la cuota de mercado, fidelidad de los clientes, reducción del tiempo de ciclo, reducción de defectos, cambio de cultura, desarrollo de productos y servicios y entre otras cosas.

Algo importante de mencionar son los elementos esenciales de este sistema, resumiéndolos en seis principios, los cuales apoyados en muchas herramientas y métodos, nos ayudan a tener una visión preliminar de todo lo que engloba Seis Sigma. Estos son:

1. Auténtica orientación al cliente.
2. Gestión orientada a datos y hechos.
3. Orientación a procesos, gestión por procesos y mejora de procesos.
4. Gestión Proactiva.
5. Colaboración sin fronteras.
6. Búsqueda de la perfección.

Una gran parte de Seis Sigma no es nueva, lo que es nuevo es su capacidad para reunir todos estos principios en un proceso coherente de gestión.

Como es de esperar, una metodología que promete tan buenos resultados tendría que llevar a la mayoría de las empresas a querer adoptarla como una herramienta de mejora totalmente integrada dentro de su gestión, pero Seis Sigma debe ser consustancial con la forma de trabajar y por lo tanto debe estar adaptada al modo de ser de cada empresa.

Seis Sigma es un conjunto de herramientas estadísticas, cualitativas y de instrucción para “Medir, Analizar, Mejorar y Controlar” las variables de cualquier proceso de trabajo, tanto las

relacionadas con la operación como aquellas de procesos administrativos, y poder mejorar las características críticas del producto (Costo, Calidad, Servicios y Diseño)

3.2 Definir

3.2.1 Identificación de los requerimientos

La etapa *definir* es en la que se identifican quiénes son los clientes y cuáles son sus requerimientos con relación al proyecto de mejora, la justificación del proyecto de mejora y las fronteras (límites) del proyecto, a la gente y elementos integrales del equipo para la organización, definición de responsabilidades, compromisos para trabajar juntos, se define además el proceso que se va a mejorar o diseñar. La importancia sustancial radica en la descripción clara de los objetivos y metas del proyecto, alineándolo con las prioridades del negocio (requerimientos del cliente) y estableciendo los alcances del proyecto en el que el equipo de trabajo deberá estar enfocado.

La parte primordial en esta fase es la de identificar los requerimientos del cliente como característica clave de un proceso o diseño en los que los estándares de desempeño deben alcanzarse para satisfacer al cliente. Los requerimientos para el proyecto son importantes porque aseguran que la mejora del proyecto se enfoque a la solución de problemas que son críticas para el cliente y están alineadas con su estrategia de negocio. Si los requerimientos del proyecto no son identificados y validados de esta manera, se podría estar malgastado en proyectos que no incrementen la satisfacción del cliente o que no añaden valor al negocio.

Para nuestro estudio, *“el requerimiento indispensable del cliente es la eficiencia del proceso maximizando las utilidades e incrementando la seguridad de los trabajadores”*.

3.2.2 Medir y Analizar.

3.2.2.1 Describiendo el proceso.

Análisis general del Proceso: El sistema a partir del cual iniciamos el diseño del equipo, parte de un procesamiento de baterías plomo ácido (BPA) de las cuales se espera obtener plomo de alta pureza así como plástico polipropileno y sulfato de sodio en cristales.

La planta puede dividirse en 3 áreas:

Área de triturado y separación en donde las baterías se rompen y se separan en distintos componentes, *área de desulfurización* de la pasta y producción de sulfato de sodio en donde la pasta sufre un proceso de desulfurización y el electrolito se neutraliza. La solución de sulfato de sodio, (Na_2SO_4) que resulta de esta operación, se cristaliza produciendo Na_2SO_4 de alta pureza y el *área de fusión y refinado* en donde a partir de fracciones que contienen plomo, se produce plomo suave de alta pureza y aleaciones de plomo diversas.

Área de trituración: Se alimentan al sistema; baterías ácidas de plomo de desecho, el electrolito se drena y colecta previamente. Un alimentador vibrante conduce las baterías hacia una banda transportadora equipada con un separador magnético para remover el hierro que se encuentre presente. Las baterías libres de hierro se rompen en un molino helicoidal, el material obtenido se lava separando la pasta de plomo de otros componentes (figura 3.2). La pasta de plomo se envía al área de desulfurización mientras que los otros componentes entran a un separador hidrodinámico en donde se separan las rejillas de metal (20-30% contenido en plomo), polipropileno y plásticos pesados como PVC, polietileno (PE) y ebonita.

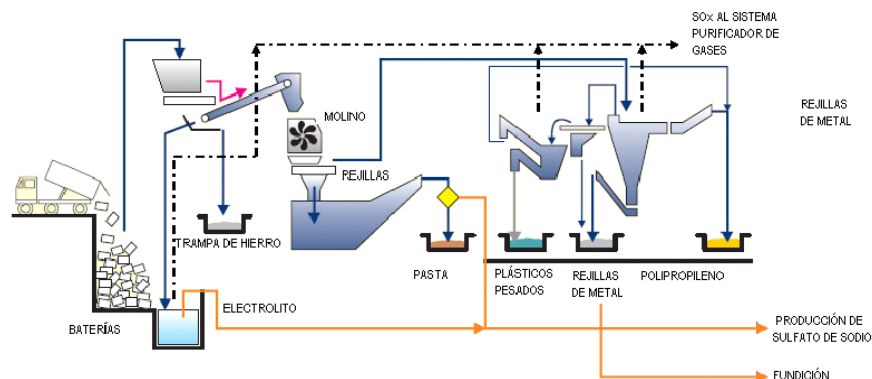
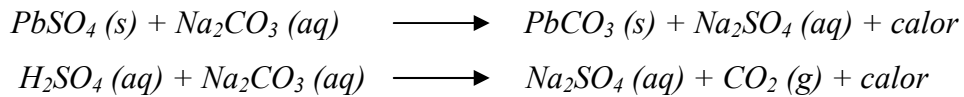


Figura 3.2 Descripción del proceso de trituración¹⁰.

Área de desulfurización de la pasta y producción de sulfato de sodio: La pasta de plomo y el plomo en polvo entran a un tanque en donde se añade una determinada cantidad de carbonato de sodio (Na_2CO_3 conocido como “soda ash”) con el fin de llevar a cabo la desulfurización de la pasta de plomo y la neutralización del electrolito (ácido sulfúrico: H_2SO_4) (ver figura 3.3). Las reacciones que se llevan a cabo se muestran a continuación:



La solución pasa por un filtro prensa separando la pasta desulfurizada de la solución de sulfato de sodio. A ésta última se le añade ácido sulfúrico y sulfuro de sodio para precipitar los metales pesados que se encuentren disueltos, además, pasa a través de varios filtros con el fin de obtener una solución más limpia, sin color, adecuada para obtener el producto final (cristales de Na_2SO_4), de buena calidad. El exceso de sulfuro de sodio, se neutraliza añadiendo peróxido de hidrógeno e hidróxido de sodio (NaOH) para ajustar el valor final del pH.

La solución salina se recircula por un intercambiador de calor para mantenerla caliente, después entra a un cristizador en donde se separan los cristales de sulfato de sodio anhidro que durante su permanencia en el equipo crecen al tamaño adecuado. El vapor se condensa y se colecta para reutilizarse como agua de lavado de alta pureza en la unidad de filtrado o en la parte del proceso en la que se requiera. Los cristales húmedos (2–5% de humedad) se alimentan al sistema de secado. La corriente de aire pasa a través de un filtro de polvo para descargarse limpio a la atmósfera (figura 3.3).

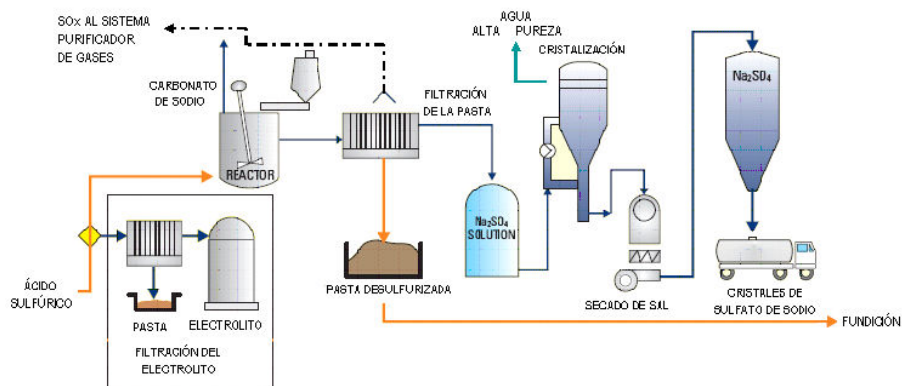


Figura 3.3 Área de desulfurización de la pasta de plomo y producción de sulfato de sodio¹¹.

Área de fusión y refinado del plomo: El material de plomo se alimenta a dos hornos rotatorios provistos de un sistema de combustión que utiliza oxígeno. Los hornos están diseñados para prevenir que se fuguen emisiones, especialmente durante el ciclo de carga. El humo sale continuamente y se trata en un filtro de bolsas en donde el plomo y otras partículas se remueven mecánicamente. El aire purificado se libera a la atmósfera.

Para la producción de plomo refinado, el sistema estará equipado con 6 crisoles de refinado en donde se llevarán a cabo las principales fases de proceso de refinación. Del último crisol de refinado, el plomo ya refinado se bombea hacia una máquina para la producción de los lingotes (figura 3.4).

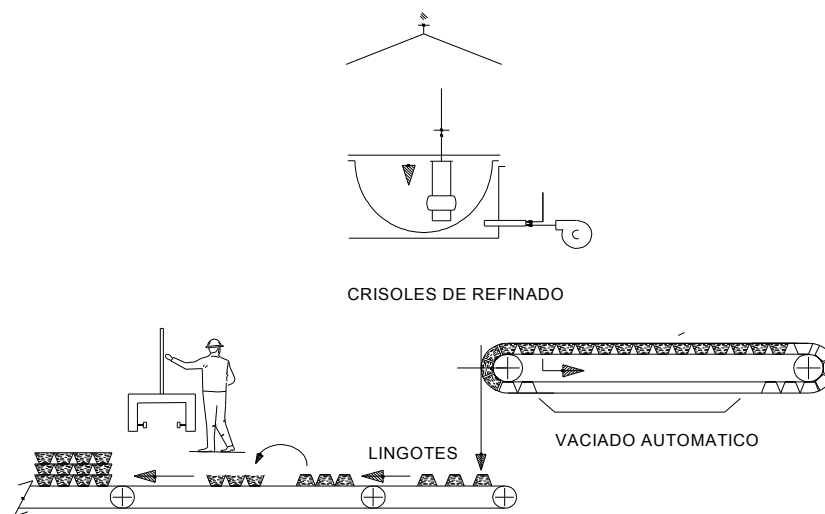


Figura 3.4 Sistema de refinación y lingoteado.¹²

3.2.2.2 Análisis del proceso (Mapping process).

Podríamos suponer en donde se puede aplicar correctamente la solución del problema, pero es más fácil si la solución se enfoca directamente en un mapeo del proceso, el cual arrojará el área más idónea para la aplicación de la solución maximizando el resultado de ahorro. En la figuras 3.5 y 3.6 respectivamente; se muestra de manera general el proceso de reciclado de las baterías, con las etapas más sobresalientes de las operaciones generales del reciclado, con los tiempos más sobresalientes de paros de proceso a plena capacidad de trabajo medidos en minutos y porcentaje de operación de trabajo.

ANALISIS DEL PROCESO DE RECICLADO

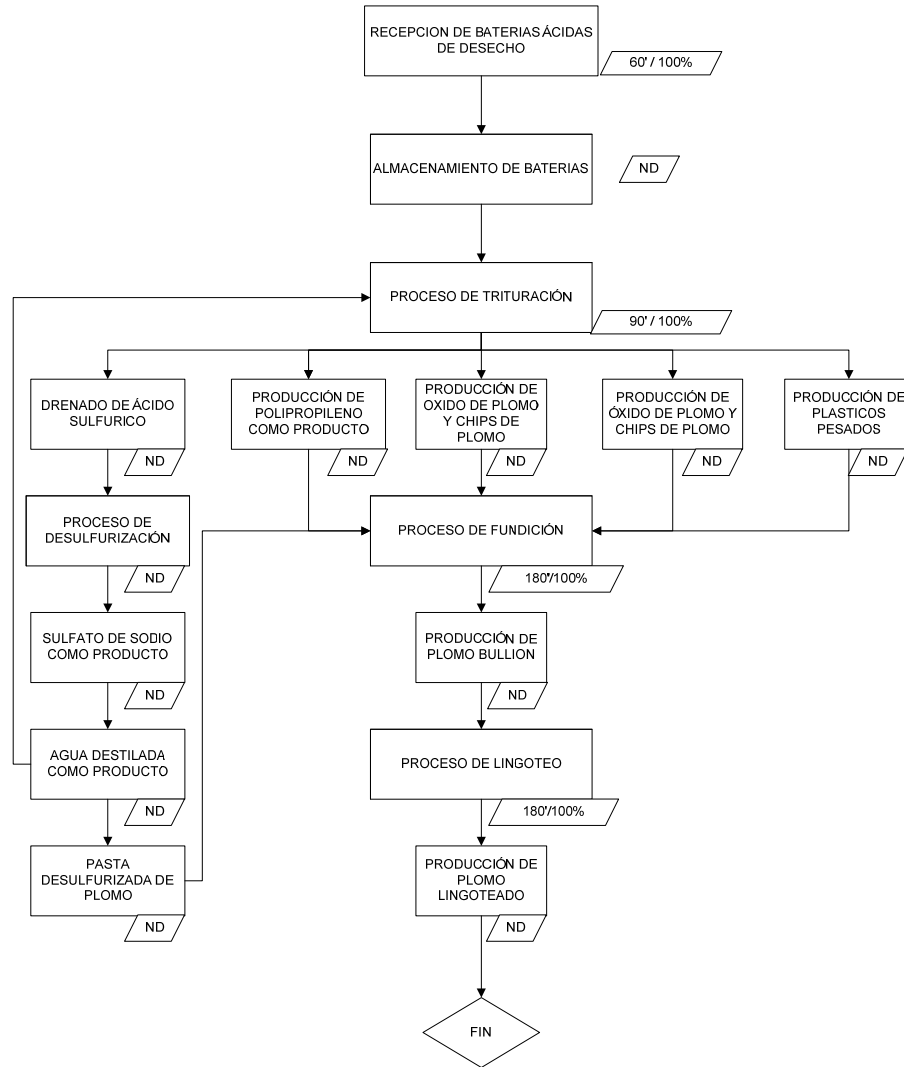


Figura 3.5 Diagrama ^{iv} del proceso de reciclado de baterías ácidas de plomo de desecho¹³.

Como se muestra, el proceso de recepción de baterías solamente tiene un tiempo de paro al día de 60 minutos, los cuales no afectan al proceso en general, ya que la carga de materiales puede estar balanceada para operar a plena capacidad de planta con el 80% de operación. No es un proceso del cual podamos obtener una mejora sustancial ya que solamente consume electricidad, sin embargo, el proceso de trituración tiene un tiempo de paro de 90 minutos, lo cual podríamos decir que es bastante, pero si tomamos en cuenta que el sistema de trituración trabaja por ciclos, es un tiempo aceptable el cual no desperdicia energía ni recursos ya que es completamente automatizado.

^{iv} Descripción: 60'/100%, Significa 60 minutos de tiempo de paro en el proceso al 100% de capacidad de operación.

En el proceso de fusión podemos notar un tiempo de paro de 180 minutos, los cuales se reparten en 1.5 hrs de paro por horno al día, si analizamos este tiempo y la capacidad de cada horno, podremos notar que existe personal para la carga de material, el cual no es suficiente para abastecer rápidamente a los dos hornos, ocasionando que cuando un horno se carga; si el ciclo del otro horno coincide con la carga del primero, éste tiene que esperar hasta que el material esté listo para alimentarlo y el proceso se detiene pero no así la quema de energéticos, ya que se tiene que consumir gas y oxígeno suficientes para mantener el material caliente y evitar la “congelación” del plomo.

Los gastos generados con respecto al tiempo de paro superan en más de 21 millones de pesos anuales por paro de hornos, con la propuesta del cargador de material estos gastos se pueden reducir en más de dos terceras partes (ver tablas 1.3 y 1.4).

El proceso de lingoteo, no consume personal extra, ya que es totalmente automático con capacidad suficiente para procesar el material proveniente de fundición. Aunque tiene un tiempo de paro de 180 minutos no es representativo para nuestro estudio ya que solamente consume electricidad y gas cuando se procesa material. Ante esto, la presente propuesta se enfoca a mejorar el tiempo de carga de los hornos.

Como observamos; el conjunto de materiales que se cargan al sistema de fusión consumen en total 180 minutos de carga (tres horas), con los elementos de carga mostrados, se necesitan 2 montacargas para poder realizar la carga del horno, personal, energéticos extras, servicios entre otras cosas.

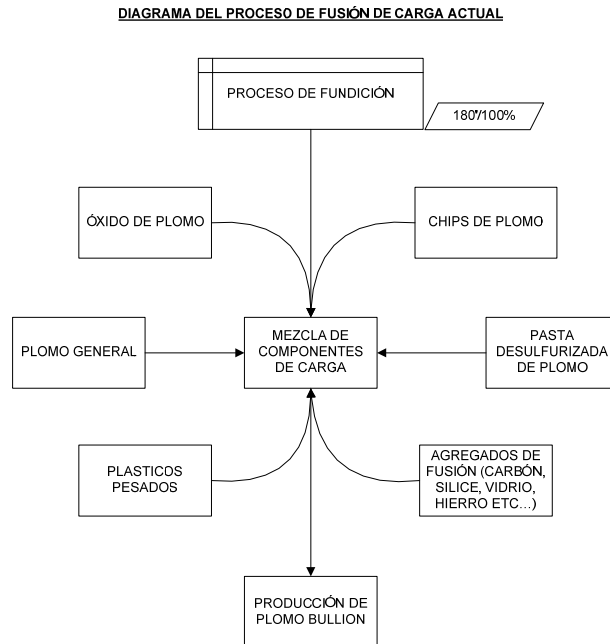


Figura 3.6 Diagrama del proceso de fusión de material¹⁴

El área en el cual se ha detectado la oportunidad de mejora se encuentra en el proceso de fusión del material (figura 3.6)

El objetivo de la medición y análisis es detallar lo que se ha aprendido en la etapa definir para identificar los subprocesos específicos o características del sistema que es el objetivo del proyecto de mejora. En la etapa definir se parte del análisis del proceso en función de los requerimientos del cliente, o el requerimiento inicial del negocio para encontrar un requerimiento específico para el proyecto. Si el requerimiento del proyecto identificado en la fase medir es demasiado amplio para un solo proyecto, se deberá reducir el alcance enfocándose en un solo factor y ampliando el análisis en particular que impacta al requerimiento principal. Cada proyecto es diferente y el nivel de detalle y de profundidad depende del alcance de cada proyecto en particular.

3.3 Diseñar

Para una correcta implementación de la etapa del diseño debemos tener en cuenta una metodología definida para llegar a la propuesta final, de tal forma que el diseño sea una etapa totalmente real.

3.3.1 Requerimientos generales del diseño.

3.3.1.1 Materiales.

El material a manejar, se caracteriza por su alta composición reactiva ya que es complemento del óxido de plomo, plomo sulfatado, chips de plomo y un porcentaje de ácido sulfúrico diluido en celdas de plomo (2% de peso en promedio) pero por otra parte, no todos los elementos del cargador estarán sujetos al ataque del mismo, por lo cual podemos definir áreas específicas de contacto con estos insumos para proponer materiales y acabados especiales que no encarezcan el equipo final pero que definan la funcionalidad bajo el ataque ácido de estos materiales.

Se pretende utilizar un material resistente a la oxidación y al ataque del ácido sulfúrico. Por lo cual partiendo de un diseño conceptual indicaremos las partes expuestas al ataque de este agente químico (figura 3.8),

El proceso de fusión toma los materiales diversos para realizar la carga de materiales, los pesa de manera individual y los forma en un alimentador que transporta el material a la zona de fusión de los hornos.

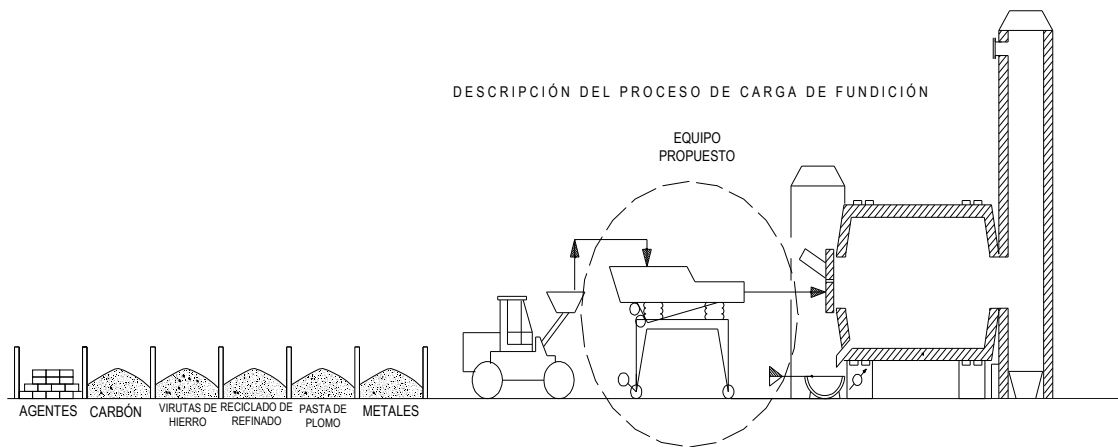
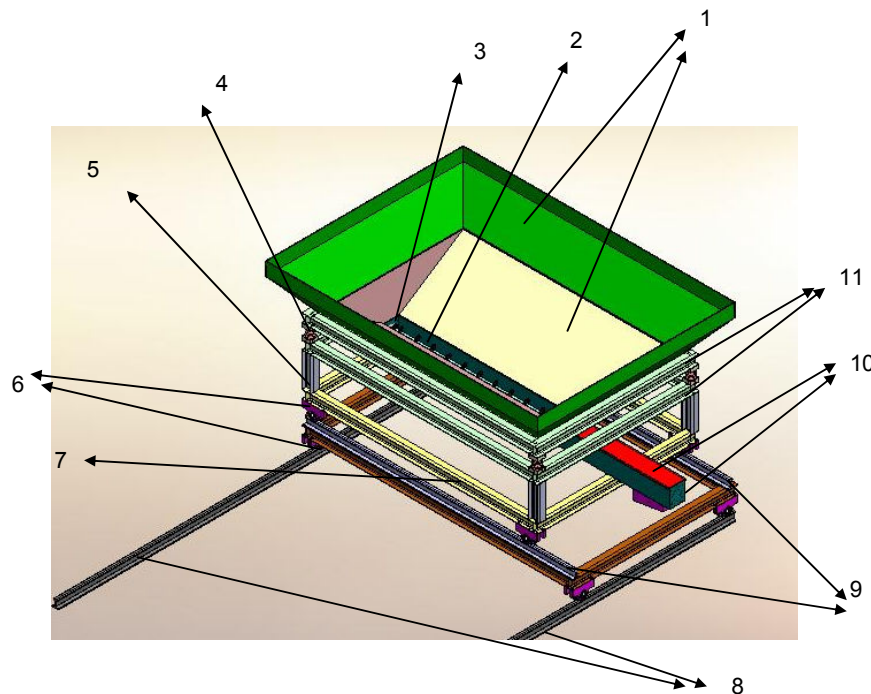


Figura 3.7 Diagrama del proceso de fusión de material¹⁵

Como vemos en este diagrama (Figura 3.7), los materiales a manejar van desde chips de hierro hasta pasta de plomo, material altamente corrosivo por contener un porcentaje del 2% en

peso de ácido sulfúrico (electrolito). Es importante considerar este tipo de materiales para la correcta selección del material para construir el cargador (ver figura 3.8).



Detalle de elementos que se someten al contacto de materiales o solamente carga.

✓ 1, 2, 3 y 10.- Material en Contacto con Celda de plomo + 5% en peso de Ácido Sulfúrico)

✓ 4, 5, 6, 7, 8, 9 y 11.- Sólo hay contacto con carga.

Figura 3.8 Contacto de materiales en el diseño de equipo¹⁶

Aceros inoxidables¹⁷: Existen muchos tipos de acero inoxidable y no todos son adecuados para aplicaciones estructurales, particularmente cuando se llevan a cabo operaciones de soldadura. Hay cinco grupos básicos de acero inoxidable clasificados de acuerdo con su estructura metalúrgica: austeníticos, ferríticos, martensíticos, dúplex y de precipitación-endurecimiento (endurecimiento por precipitación). Los aceros inoxidables austeníticos y dúplex son, en general, los grupos más empleados en aplicaciones estructurales.

Los aceros inoxidables austeníticos proporcionan una buena combinación de resistencia a la corrosión y de las propiedades de fabricación. Los aceros inoxidables dúplex tienen una resistencia elevada y también una alta resistencia al desgaste, con una muy buena resistencia a la corrosión bajo tensión.

Los grados más utilizados, referidos generalmente como grados austeníticos estándares, son 1.4301 (comúnmente conocido como 304) y 1.4401 (comúnmente conocido como 316). Estos aceros inoxidable contienen entre un 17-18% de cromo y un 8-11% de níquel. El grado 1.4301 es adecuado en ambientes rurales, urbanos y ligeramente industriales, mientras que el 1.4401 es un grado más aleado y por tanto recomendable en ambientes marinos e industriales.

Las versiones de estos mismos grados con bajo contenido en carbono son 1.4307 (304L) y 1.4404 (316L). Los grados 1.4301 y 1.4401 se fabricaban anteriormente con contenidos de carbono más elevados lo cual tenía implicaciones en el comportamiento de los mismos frente a la corrosión. Tanto el grado 'L' como un acero estabilizado tal como el 1.4541 y el 1.4571 deberían utilizarse cuando sea determinante el comportamiento frente a corrosión en estructuras soldadas.

La propuesta de material en este caso para las partes en contacto con el agente químico incluido en el material de celda de plomo (partes 1, 2, 3 y 10) se manufacturarán con acero inoxidable 316L (bajo carbono) de acuerdo a las siguientes especificaciones del material en las tablas 3.2, 3.3 y 3.4.

Grado	Producto ¹⁾	Espeor máximo (mm)	Mínima resistencia ²⁾ o correspondiente al 0,2% (N/mm ²)	Resistencia última a tracción (N/mm ²)	Alargamiento de rotura (%)	
Aceros inoxidables austeníticos básicos de cromo y níquel	1.4301	C	8	230	540 - 750	45 ³⁾
		H	13,5	210	520 - 720	45 ³⁾
		P	7,5	210	520 - 720	45
Aceros inoxidables austeníticos de molibdeno, cromo y níquel	1.4404	C	8	220	520 - 700	45
		H	13,5	200	520 - 700	45
		P	7,5	200	500 - 700	45
Aceros inoxidables austeníticos estabilizados	1.4541	C	8	220	520 - 720	40
		H	13,5	200	520 - 720	40
		P	7,5	200	500 - 700	40
Aceros inoxidables austeníticos bajos en carbono, altos en nitrógeno	1.4318	C	8	350	650 - 850	35
		H	13,5	330	650 - 850	35
		P	7,5	330	630 - 830	45
Aceros inoxidables dúplex	1.4462	C	8	450	650 - 850	20
		H	13,5	400	650 - 850	20
		P	7,5	400	630 - 800	25
Aceros inoxidables dúplex	1.4462	C	8	500	700 - 950	20
		H	13,5	460	700 - 950	25
		P	7,5	460	640 - 840	25

Notas:
1) C=filete laminado en frío, H=filete laminado en caliente, P=chapa laminada en caliente
2) Propiedades transversales
3) Para material más estrado, los valores mínimos son un 5% más bajos

Tabla. 3.2 Acero inoxidable AISI 316L (X2CrNiMo 12-12-12 según 1.4404, tomado del Manual del diseño para acero inoxidable estructural, 3ra Edición, 2006 Euro Inox & Steel Construction Institute, página 23).

Grado de acero en EN 10088		Alemania (DIN)		Reino Unido	Francia	Italia	Suecia	España	Estados Unidos	
Nombre	No.	Nombre	No.	BSI	AFNOR	UNI	SIS	UNE	AISI	UNS
X5CrNi18-10	1.4301	X5 CrNi 18 10	1.4301	304 S 15 304 S 16 304 S 31	Z 6 CN 18-09	X5 CrNi 18 10	2332 2333	3504	304	S 30400
X2CrNi19-11	1.4306	X2 CrNi 19 11	1.4306	304 S 11	Z 2 CN 18-10	X2 CrNi 18 11	2352	3503	304 L	S 30403
X2CrNi18-9	1.4307	-	-	-	-	-	-	-	-	-
X6CrNiTi18-10	1.4541	X6 CrNiTi 18 10	1.4541	321 S 31	Z 6 CNT 18-10	X6 CrNiTi 18 11	2337	3523	321	S 32100
X5CrNiMo17-12-2	1.4401	X5CrNiMo 17 12 2	1.4401	316 S 31	Z 6 CND 17-11	X5 CrNiMo 17 12	2347	3534	316	S 31600
X2CrNiMo17-12-2	1.4404	X2CrNiMo 17 13 2	1.4404	316 S 11	Z 2 CND 17-12	X2 CrNiMo 17 12	2348	3533	316L	S 31603
X2CrNiMo17-12-3	1.4432	-	-	-	-	-	-	-	-	-
X2CrNiMo18-14-3	1.4435	X2 CrNiMo 18 14 3	1.4435	316 S 13	Z 2 CND 17-13	X2 CrNiMo 17 13	2353	3533	316 L	S 31603
X1NiCrMoCu25-20-5	1.4539	X1 NiCrMoCuN 25 20 5	1.4539	-	Z 1 CNDU 25-20	-	2562	-	904 L	N 08904
X6CrNiMoTi17-12-2	1.4571	X6 CrNiMoTi 17 12 2	1.4571	320 S 31	Z 6 CNDT 17-12	X6 CrNiMoTi 17 12	2350	3535	316 Ti	S 31635
X2CrNi18-10	1.4311	X2 CrNiN 18 10	1.4311	304 S 61	Z 2 CN 18-10 Az	-	2371	-	304 LN	S 30453
X2CrNiMoN17-11-2	1.4406	X2 CrNiMoN 17 12 2	1.4406	316 S 62	Z 2 CND 17-12 Az	-	-	-	316 LN	S 31653
X2CrNiMoN17-13-5	1.4439	X2 CrNiMoN 17 13 5	1.4439	-	-	-	-	-	317 LMN	S 31726
X1NiCrMoCuN25-20-7	1.4529	X1 NiCrMoCuN 25 20 6	1.4529	-	-	-	-	-	-	-
X2CrNi18-7	1.4318	X2 CrNiN 18 7	1.4318	-	-	-	-	-	301 LN (302 LN)	-
X2CrNiMoN22-5-3	1.4462	X2 CrNiMoN 22 5 3	1.4462	Dúplex 2205	Z 2 CND 22-5 Az	-	2377	-	-	S 31803

Tabla. 3.3 Designaciones y equivalencias de materiales de acero inoxidable AISI 316L (X2CrNiMo 12-12-12 según 1.4404, tomado del Manual del diseño para acero inoxidable estructural, 3ra Edición, 2006 Euro Inox & Steel Construction Institute, página 126).

- ✓ Material: Acero Inoxidable Tipo AISI 316L (X2CrNiMo 12-12-12 según 1.4404)^j
- ✓ Composición química:

Material	Porcentaje contenido en peso
Cr	16.00 - 18.50*
Ni	11.00 - 14.00*
C	0.030 max.
Si	1.00 max.
Mn	2.00 max.
Mo	2.00 - 2.50
N	0.050 max.*
P	0.030 max.*
S	0.010 max*
Fe	Residuo
Cobalto	Máximo 0.20 %

✓ Propiedades mecánicas:

Resistencia a la ruptura: 585525 MPA mínimo.

Resistencia a la tensión (0.2%): 260230 MPa mínimo.

Módulo de Young (E): 200186 GPa mínimo.

Porcentaje de elongación en la ruptura A5: 35% mínimo.

Dureza Brinell HB: 180 máximo.

RESISTENCIA QUIMICA DE LOS METALES

Clasificación por resistencia: A = Bueno; F = Regular; C = Precaución, depende de las condiciones; X = No se recomienda.

Precaución: No utilice la tabla sin leer las notas de pie de página y el texto.

Sustancia	Hierro y acero	Latón rojo	Bronce comercial	Plomo	Cobre	Aluminio	Níquel	Inconel	Metal Monel	Ac. Inox. Tipo 304	Ac. Inox. Tipo 316	Ac. Inox. Tipo 347	Ac. Inox. Carpenter "20"	Hastelloy "B" o "C"
Nitrato de sodio.....	A	A	A	A	A	A	A ₂₅	A ₂₅	A ₂₅	C	A	A	A	C ₁₁
Peróxido de sodio.....	C	C	-	-	-	A	A	-	A	A	A	-	-	A ₂₇
Sulfato de sodio.....	A	A	A	A ₂₇	A	A	A ₂₅	A ₂₅	A ₂₅	A	A	A	A	A
Sulfuro de sodio.....	A	C	C	A	C	X	A ₂₈	A ₂₈	A ₂₈	C	A	A	A	A ₁₆
Tiosulfato de sodio, "hipo" ..	A ₂₉	C	C	A	C	C	-	-	-	A	A	A	A	-
Acido esteárico	F	A	A	A	C ₂₉	A ₁₁	A ₄	A ₄	A ₄	A	A	A	A	A ₂₅
Azufre	A	A	F	-	C	A	A	A	A	C	C	C	A	A
Anhídrido sulfuroso, seco	A	A	A	A	A	A	A	A	A	C	C	C	A	A ₂₉
Anhídrido sulfuroso, húmedo	X	F	F	A	A	C	X	F	X	C	C	A	C	A
Acido sulfúrico, < 10%, frío ..	X	C	C	A	C	X	C	C	F	C	C	A	X	A
Caliente	X	X	X	A	X	X	X	X	C	C	X	X	X	A
10-75%, frío	X	X	X	A	X	X	C	C	C	C	C	C	-	A
Caliente	X	X	X	A	X	X	X	X	F	X	X	X	-	A ₂₈
75-95%, frío	A	C	C	A	C	X	-	-	A	F	A	C	A	A ₁₅
Caliente	A	-	X	A	-	X	X	X	C	X	C	X	-	A ₂₆
Fumante	A	-	-	A	F	A ₁₆	X	-	-	A	A	-	-	A ₂₆
Acido sulfuroso	X	F	F	A	F	A	C	C	C	C	C	A	C	A
Acido tartárico.....	X	C	-	A	-	A	C	C	C	C	A	-	-	A ₁₁
Tolueno	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A ₃₀
Tricloroetileno, seco	A	A	A	F	A	A	A	A	A	C	A	C	A	-
Húmedo	X	F	F	-	A	C	-	-	-	-	-	-	-	-
Trementina	C	C	C	A	C	A	-	A	A	A	A	A	A	A
Agua, potable (de grifo, alimentación de calderas, etc.)	A	A	A	A	A	X	A	A	A	A	A	A	A	A
Agua de mar	C	A	A	A	C	X	C	A	A	C	C	C	A	A
Whisky y vinos	X	C	C	-	A	C	A	A	C	A	A	-	A	-
Cloruro de zinc	X	X	X	A	X	X	-	-	A	X	C	-	A	A
Sulfato de zinc	C	C	C	-	F	-	-	-	A	F	A	-	A	A

Las notas continúan en la página siguiente.

- | | |
|--|---|
| <ol style="list-style-type: none"> 1. En ausencia de oxígeno. 2. 125° máximo. 3. Todos los porcentajes; 70°. 4. Hasta ebullición. 5. 5% temperatura ambiente. 6. Hasta 122°. 7. El hierro y el acero pueden oxidarse considerablemente en presencia de agua y aire. 8. Las aleaciones de alto contenido de cobre están prohibidas por los Códigos; latón amarillo aceptable. 9. Se recomienda Hastelloy "C" hasta 105°. | <ol style="list-style-type: none"> 10. Cuando no es importante el color. No usar con ácido c.p. 11. De temperatura ambiente hasta 212°. La humedad inhibe el ataque. 12. Gas; 70°. 13. Hasta 500°. 14. Hastelloy "C" a temperatura ambiente. 15. De temperatura ambiente hasta 158°. 16. A temperatura ambiente. 17. Cuando no se objetable la decoloración. 18. 5% máximo; 150° máximo. 19. Satisfactorio para vapores hasta 212°. |
|--|---|

Tabla. 3.4 Resistencia química de los metales (Manual de recipientes a presión. Diseño y cálculo, por Eugene F.

Megyesy, Ed. LIMUSA, Gpo. Noriega Editores. Página 197)

La propuesta de material en los puntos 4, 5, 6, 7, 8, 9 y 11 solamente estarán realizando la labor de carga, además no están en contacto directo con el material para alimentar los hornos, por lo cual solamente se utilizarán materiales de grado estructural recomendados por la AISI (American Iron and Steel Institute) en grados comerciales como aceros 1040, etc...

3.3.1.2 Espacio.

El espacio en donde colocaremos el equipo en general debe considerarse para efectos del diseño del equipo y estará definido por la siguiente área de trabajo.

No hay restricciones para las longitudes y anchos, además la nave tendrá más de 12 metros de altura en la parte más alta (centro), la parte más importante es la de alimentación para un montacargas el cual nos arroja una altura máxima de elevación de 4.5 metros para colocar la carga en el alimentador (figura 3.9).

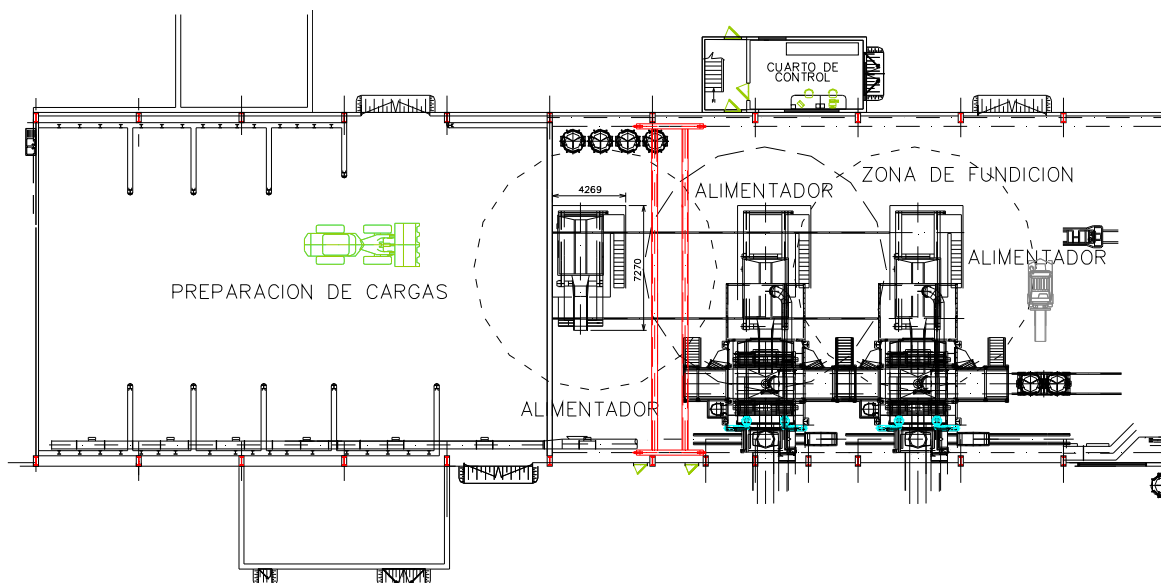


Figura 3.9 Área de preparación de cargas y fundición.

Podemos notar que las dimensiones generales del área para colocar el equipo nos limitan solamente a un claro de 4.3 m x 7.3 m aproximadamente, sin limitación a crecer

paulatinamente. La condición propuesta para el equipo (área a utilizar) sería del orden de los 5 x 5 metros aproximadamente (figura 3.10).

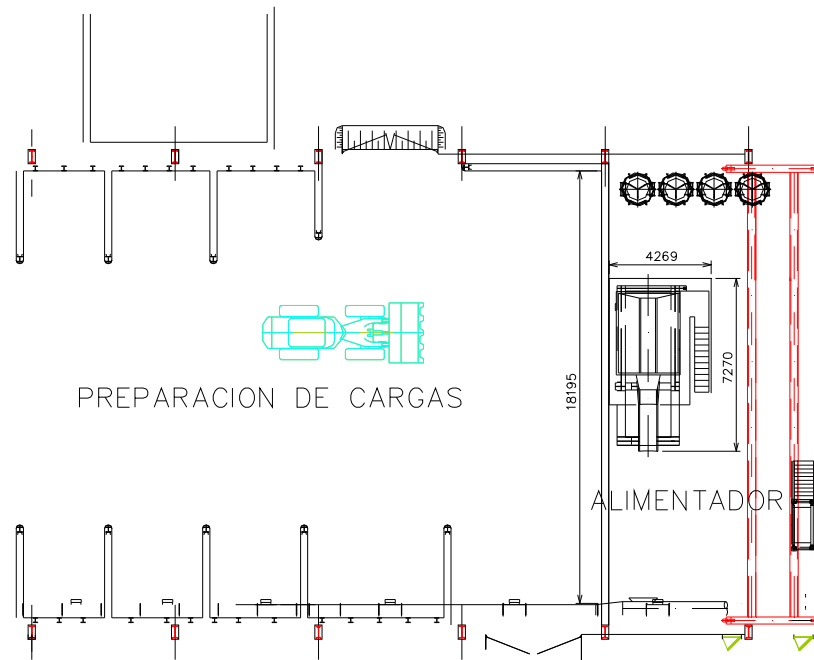


Figura 3.10 Medidas de área de trabajo y equipo

3.3.1.3 Temperatura.

Los factores de trabajo para los equipos deben de considerarse para operar a temperaturas ambientales y además de trabajo extremo.

Medio Ambiente: La localidad en la cual se colocará este equipo es en el Estado de México, en la cual se han registrado temperaturas en invierno mínimas de 2 °C y máximas de 37 °C en verano.

Alimentación horno de fusión: El equipo debe resistir al momento de alimentar la carga una temperatura de 1200° C en la zona de alimentación (tornillo sinfin), por lo cual se buscará el material en Acero 316L que resista esa temperatura o en su caso colocar un equipo refractario de fibra de vidrio o malla de cerámica como aislante térmico para evitar la sobre exposición. El equipo debe resistir la temperatura al menos 2 minutos.

3.3.1.4 Condiciones de funcionalidad.

Estas son las condiciones mínimas para que el equipo pueda operar cumpliendo con los requerimientos para los que fue diseñado.

Carga máxima del equipo: La carga deberá diseñarse para soportar un total de 65 toneladas de material listo para fusión (1 descarga completa).

Condiciones de pesado: El equipo debe tener un sensor que indique el peso al momento de estar llenando el alimentador, deberá ser programable para delimitar cargas de elementos y debería ser audible (alarma). El sistema automáticamente deberá anunciar si la carga es sobrepasada encendiendo una alarma y una luz de color rojo intermitentemente.

Condiciones de trabajo: El equipo debe ser accionado por medio de un banco de control que controle un motor para el movimiento lateral hacia los hornos y de otro sistema que accione un motor para el movimiento transversal para alimentar el horno fusor. El movimiento deberá realizarse sobre rieles.

Ciclos de trabajo: El equipo deberá desplazarse a una velocidad de 5 m/min en forma longitudinal y a una velocidad de 3 m/min en forma transversal.

Condiciones eléctricas: Sistema alimentado por un voltaje de 220/440 VCA a 60 Hz de frecuencia. El sistema de control deberá de accionar relevadores de 110 VCA a 220 VCA según se requiera.

Requerimientos varios: Equipo con diseño agradable, estético, acabado en pintura, fácil de limpiar y de dar mantenimiento, con partes intercambiables en el mercado nacional.

3.2.1.5 Análisis del diseño propuesto.

Estas son las condiciones mínimas para que el equipo pueda operar cumpliendo con los requerimientos para los que fue diseñado.

Para efectos de desarrollo, el sistema que se propone opera bajo todas las premisas anteriores ya descritas, implícitas en las condiciones de operación de la planta de fundición. El presente equipo se muestra como modelo de partida el cual nos podrá ayudar en el desarrollo del modelo final. Como se ha descrito en capítulos anteriores, nuestra propuesta está orientada a la obtención de un equipo sencillo, y de fácil mantenimiento para el consumidor final (ver figura 3.11).

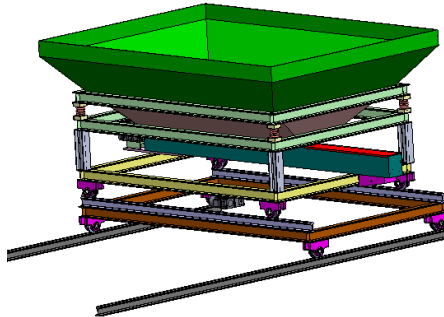


Figura 3.11 Propuesta de diseño de equipo cargador de fusión (modelado en “solid works”)^v

El equipo que se propone cumple con los requisitos establecidos en los requerimientos del cliente, mismos que se han reflejado en el equipo propuesto. A continuación procederemos a describir la operación del equipo.

-Movimiento: El equipo está provisto de un sistema de rieles y ruedas metálicas, las cuales se utilizan para el desplazamiento del equipo de manera longitudinal. Un motor colocado en la zona de transmisión inferior proporciona el movimiento del equipo en dirección hacia los dos hornos fusores, el motor está equipado para trabajar en ambos sentidos por medio de un motor inversor eléctrico y no por conmutación mecánica (ver figura 3.12).

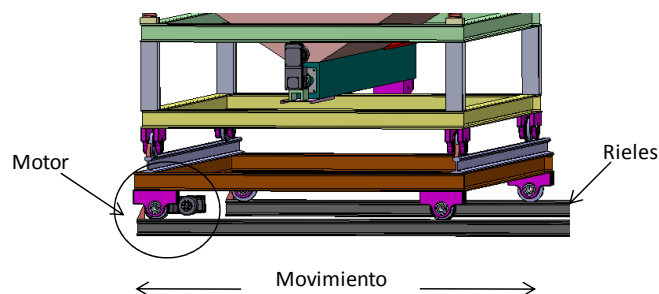


Figura 3.12 Movimiento en rieles superiores (modelado en solid works)

^v Nota, todos los modelos son elaborado por el Ing. Ricardo García en el software “solid works” 2008 bajo derechos corporativos registrados.

En la parte superior, de la misma manera, se encuentra un sistema apoyado en rieles el cual realiza la misma función del equipo anterior. Por medio de otro motor acoplado a la transmisión del sistema, este suministra la potencia suficiente para mover el sistema de descarga de manera transversal, misma que se utiliza para la alimentación de la carga a los sistemas de fusión (figura 3.13).

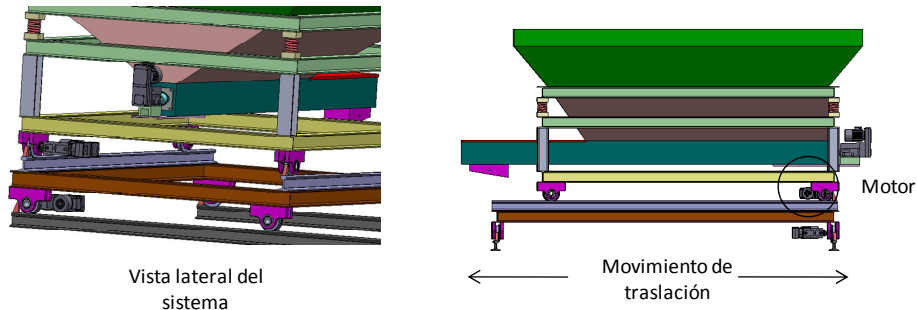


Figura 3.13 Movimiento en rieles inferiores (modelado en “solid works”)

-Alimentación de material: Se utiliza un sistema de alimentación por medio de un motor de giro continuo acoplado a un mecanismo de un tonillo sinfín alimentador. El equipo cumple con los parámetros de diseño establecidos por los requerimientos del cliente, evitando la corrosión por su diseño en acero inoxidable 316L, ya que el material a fusionar es celda de plomo con humedad de ácido sulfúrico además de los agregados para completar la carga del sistema (ver figura 3.14).

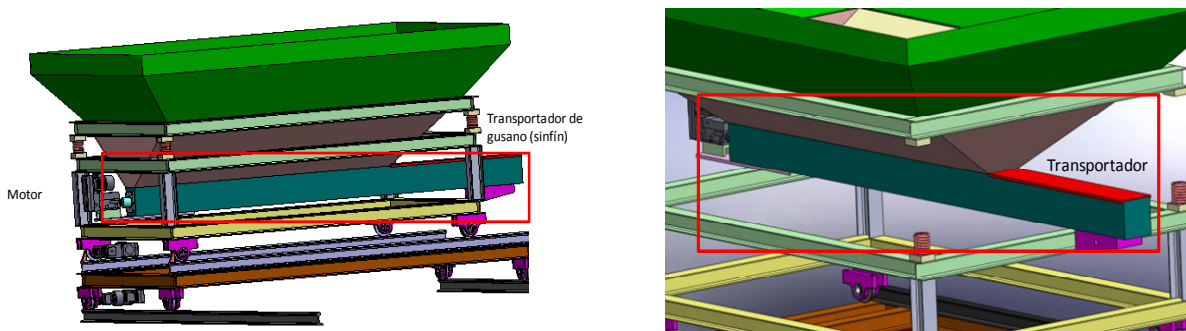


Figura 3.14 Detalle del Transportador Sinfin (modelado en “solid works”)

-Sistema de censado de carga: El sistema de carga que se propone, está utilizando un sensor de carga colocado en cada uno de los cuatro puntos en donde la carga se reparte para el control de pesado. Los sensores tienen un máximo registro de alrededor de 75 toneladas. La

carga máxima a censar es de 65 toneladas por lo cual los equipos están perfectamente acoplados para su utilización.

En esta parte, se encuentra un sistema de amortiguador (ver figura 3.15) para evitar los movimientos bruscos del pesado de material y a su vez, absorber las vibraciones ocasionadas por el sistema vibrador que se colocará en una de las tolvas para sacudir el material sobrante, además por medio del transportador de gusano se podrá descargar el material a los hornos fusores (ver figura 3.16).

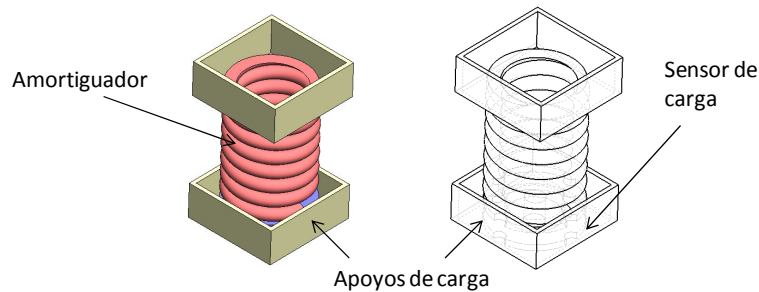


Figura 3.15 Detalle del sistema de sensado de carga

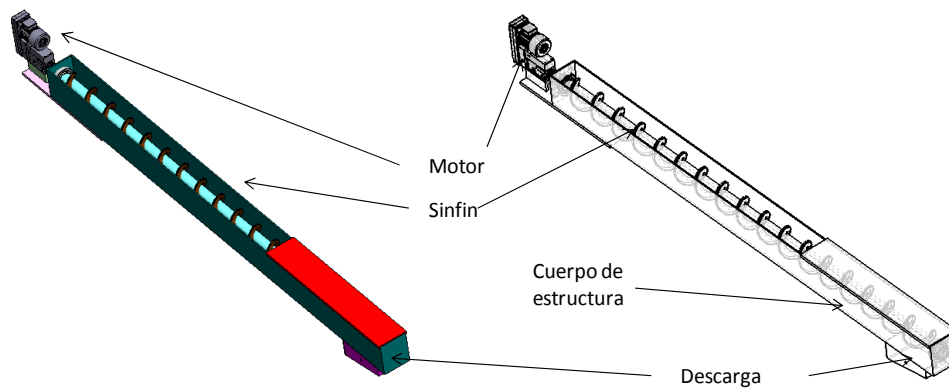


Figura 3.16 Detalle del sistema de alimentación (modelado en "solid works")

Con respecto a las tolvas superiores, se encuentran unidas en dos secciones para dar la forma que asegure el correcto vaciado de los materiales, la construcción de las mismas se realizará con acero 316L para evitar corrosión, a su vez, esta estructura estará reforzada con un marco de carga lateral que se montará para recibir a las tolvas en acero 1040 como acero estructural. La carga repartida, se mandará directamente a los sensores de carga que detectarán el peso total de manera incremental (entre cuatro apoyos, ver figura 3.17 y 3.18).

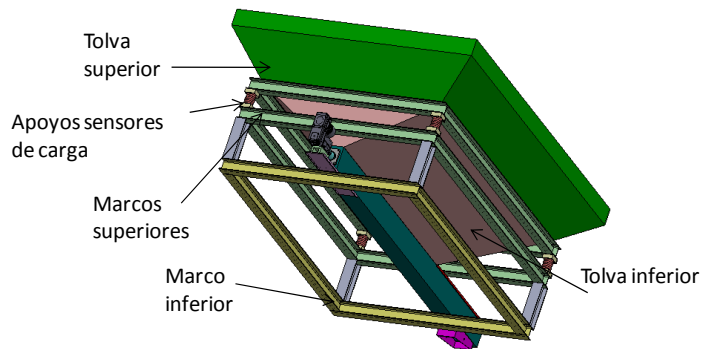


Figura 3.17 Detalle de Sistema de Tolvas (modelado en “solid works”)

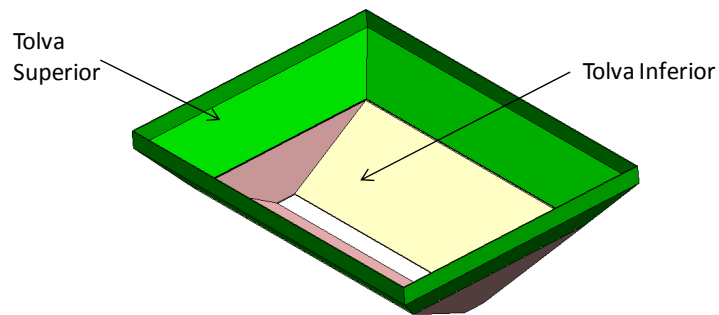


Figura 3.17 Detalle de Sistema de Tolvas (modelado en “solid works”, continuación)

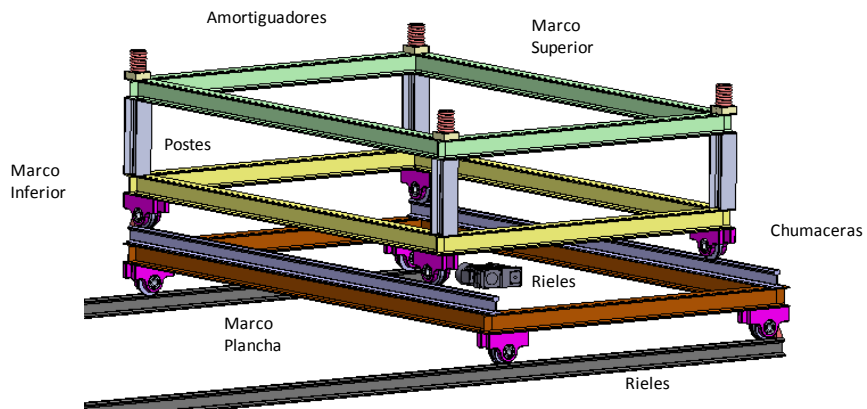
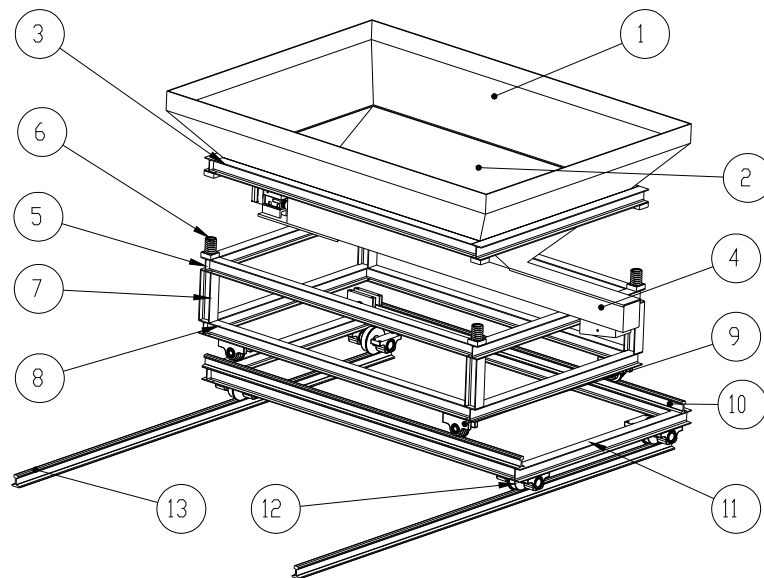


Figura 3.18 Detalle de sistema de marcos, chumaceras y rieles (modelado en “solid works”)

Después de mostrar la propuesta detallada del equipo, a continuación haremos lo mismo con la propuesta conceptual (figura 3.19). De esta partiremos para diseñar el equipo final.



ID	Detalle de piezas
1	Tolva superior
2	Tolva inferior
3	Marco superior de contención de tolvas
4	Transportador sinfín de material
5	Marco inferior de carga
6	Sensores de carga
7	Columnas de carga
8	Contra marco de carga
9	Chumaceras y rodamientos superiores
10	Rieles superiores
11	Marco de plancha
12	Chumaceras y rodamientos inferiores
13	Rieles inferiores de carga

Figura 3.19 Equipo propuesto (modelado en “solid works”)

3.4 Validación del diseño propuesto.

3.4.1 Diseño final funcional.

Todas las actividades de los capítulos anteriores han sido desarrolladas de acuerdo a:

- Las necesidades del cliente
- Identificación de la necesidad y propuesta de solución.
- Conceptualizar la solución del problema para su análisis.

Los diseñadores frecuentemente encuentran que una definición clara de los requerimientos del cliente es la parte más difícil del proyecto. Sin embargo, algunas personas determinan que entre más fácil y clara sea la idea de conceptualización; será más fácil encontrar el diseño idóneo. Las soluciones son presentadas cuando los requerimientos de la “voz del cliente” son descritos con claridad. En capítulos anteriores se han desarrollado las bases para determinar a partir de la conceptualización el diseño final funcional, el cual servirá para la validación y el análisis del producto propuesto.¹⁸

Anteriormente ya se ha revisado la propuesta conceptual del equipo en general junto con todas las partes que la interrelacionan. Analizando la primera propuesta, podemos notar que existían diferentes partes a simple inspección que al parecer funcionaban de manera apropiada pero otras estaban sobredimensionadas o no eran funcionales o estéticas al momento de dibujarlas o ensamblarlas, resultado de este análisis que se muestra en la figura 3.20, como un acercamiento a la propuesta final susceptible aún de ser mejorada. En este análisis se incluye todavía un sistema de rieles alimentadores en donde viaja el cuerpo principal del cargador, conforme avancemos en el modelado se justificará el uso de este riel o la modificación de esta sección como mejora final de nuestra propuesta.

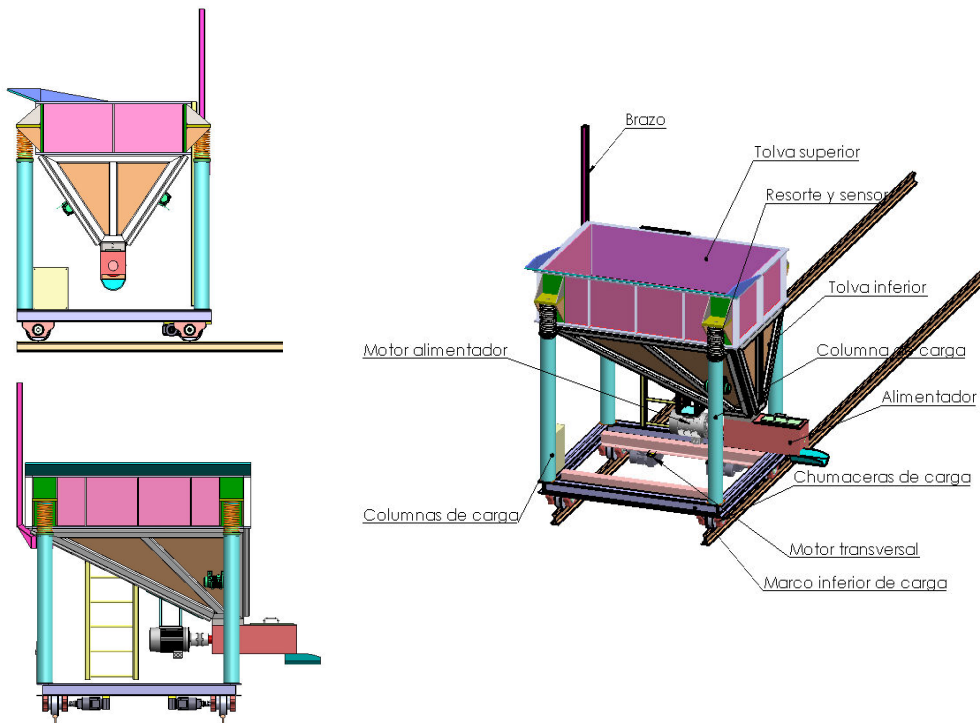


Figura 3.20 Equipo propuesto (modelado en “solid works”)

A continuación se detallará el funcionamiento de cada una de las partes junto con la información general de cada elemento que conforma el cargador de material. En el siguiente capítulo se validarán cada una de las partes de ensamble por medio del análisis de elementos finitos en “solid works” para el diseño final del equipo. La validación conllevará a modificar algunas partes dadas como cartelas^{vi} de refuerzo, espesores entre otros de acuerdo a los resultados que arroje la modelación de esfuerzos.

3.4.2 Ingeniería de detalle de las unidades de ensamble.

3.4.2.1 Conjunto de tolva superior.

La tolva superior recibe el material que se enviará a los hornos, debe tener resistencia y rigidez para recibir la materia prima y a su vez soportar la carga aplicada.

La tolva está compuesta de 4 placas las cuales son unidas mediante soldadura en las esquinas de las uniones. El material para utilizar será acero inoxidable 316L, ya que como se explicó en los primeros capítulos dentro de metodología DFSS “Medir” el material a recibir es altamente corrosivo (composición de plomo y ácido sulfúrico y humedad del 2% en peso). Las placas se especificarán con un espesor de 12.7 mm (1/2 in), material que se encuentra comercialmente en México. La figura 3.21 muestra el ensamble de la tolva, conformada por cuatro placas soldadas de tal manera que permitan realizar la “caja” de la unidad receptora.

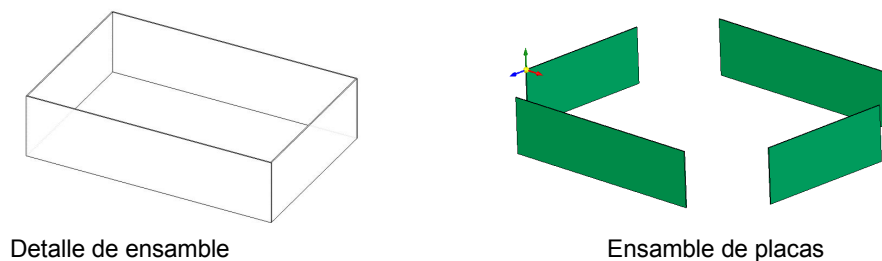


Figura 3.21 Ensamble de tolva superior

^{vi} Placa de refuerzo

3.4.2.2 Refuerzos tolva superior.

Como la tolva recibe una cantidad importante de material, se debe rigidizar para evitar el “pandeo” por la carga alojada, para evitar esto, se colocan refuerzos metálicos alrededor de la tolva, los cuales repartirán la carga de la “presión” del material ejercido sobre las paredes, mismas que estarán unidas a la tolva por medio de soldadura en acero inoxidable. De la misma forma, estas placas funcionarían como costillas laterales, aportando rigidez y estética a la tolva. Los ensambles de las piezas se muestran en la figura 3.22.

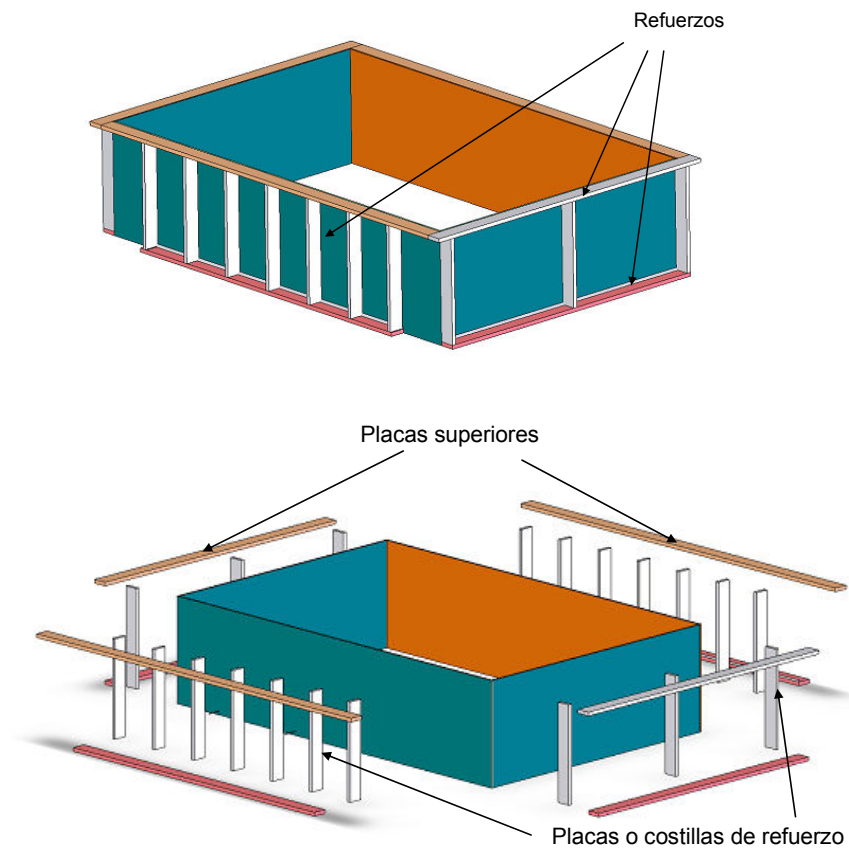


Figura 3.22 Despiece de ensamblaje

3.4.2.3 Soportes acopladores de tolva superior

La carga transmitida por el peso del sistema receptor se transmitirá a los soportes receptores de la tolva superior, ubicados en las partes más cercanas de la concentración de peso de la estructura, funcionarían como acopladores entre la estructura superior así como la estructura inferior del sistema repartido entre cuatro unidades.

Uno de los elementos alojará en su interior una “celda de carga” para el censado del peso de la unidad, el cual mandará una señal eléctrica a la consola de control para determinar las cargas entre materiales y ajustar la “mezcla de elementos” por medio de un cable eléctrico para la señal, a su vez esta pieza servirá como husillo de apoyo para el resorte amortiguador de carga. La pieza estará conformada por placas de espesor de 12.7 mm en acero inoxidable 316L, las cartelas servirán como refuerzo estructural y para alojarla a las paredes de la tolva superior por medio de la aplicación de soldadura (figura 3.23).

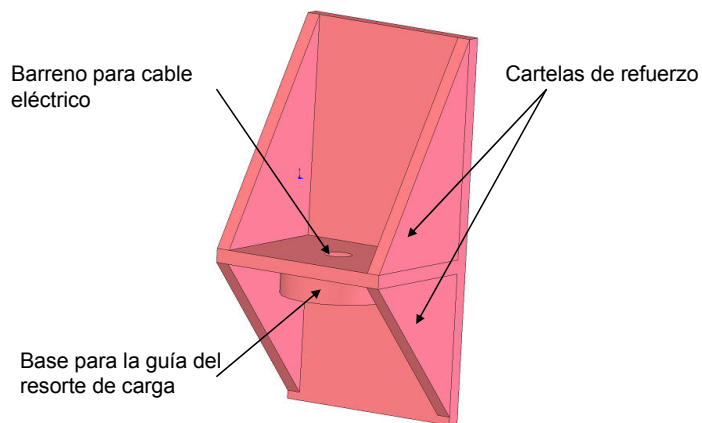


Figura 3.23 Soporte acoplador de tolva superior

3.4.2.4 Tolva inferior de carga

La tolva inferior al igual que la tolva superior, recibe material para los hornos de fusión, mismos que como hemos explicado recibirán material corrosivo, de tal suerte que para evitar problemas de corrosión se construirá con acero inoxidable AISI 316L. A diferencia de la construcción de la tolva superior, ésta solamente recibe el peso del material y del tornillo alimentador sinfín; no está sujeta a maltrato al momento de alimentar el material por medio del “payloader”; se considera la carga total del material a alojar así como el peso que deberá soportar por la acción del gusano sinfín alimentador. La construcción de este elemento se realizará con cuatro placas cortadas angularmente para ser ensambladas y unidas por medio de soldadura en acero inoxidable. El espesor de la placa será de 12.7 mm (1/2 in). Las figuras 3.24 a y b muestran la pieza y a su vez el ensamble de las placas para la conformación del componente.

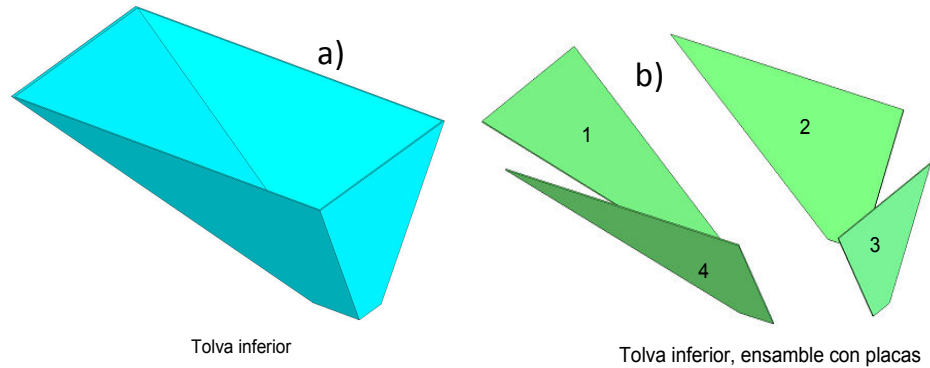


Figura 3.24 Tolva superior y despiece de ensamble.

3.4.2.5 Resorte amortiguador de carga.

Para funcionar a modo de suspensión y amortiguador entre el peso de la sección flotante del diseño y la estática se utilizará un resorte helicoidal que mantendrá unidas a las piezas y recuperará su posición original cuando el peso haya sido liberado. Se empleará un resorte helicoidal de 22.25 cm. para trabajar a compresión, material propuesto acero inoxidable AISI 304 (ver figura 3.25).

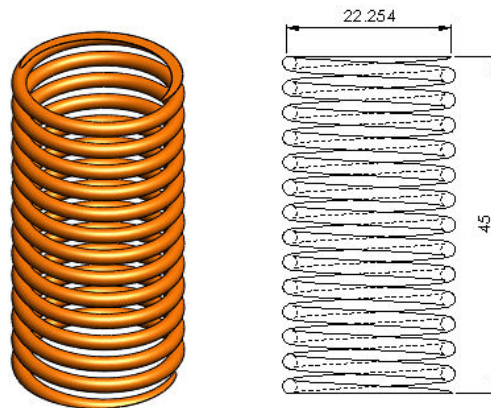


Figura 3.25 Resorte amortiguador de carga.

3.4.2.6 Celda de Carga.

En lo que respecta a la construcción y operación de la celda de carga, procederemos a explicar la celda a utilizar, justamente para deformarla se debe colocar en el extremo del plato de carga para empezar a “deformarse” y a su vez transmitir la diferencia eléctrica de las resistencias colocadas en los extremos del plato, el conductor es el encargado de transmitir una señal que

deberá ser proporcional a la deformación cuando al circuito se le aplique un voltaje “de excitación”, el cual al recibirse en el transductor de señal se convertirá en información digital que se podrá leer en una pantalla electrónica. Los circuitos que miden la deformación se denominan “galgas o gages de carga” (figura 3.26).

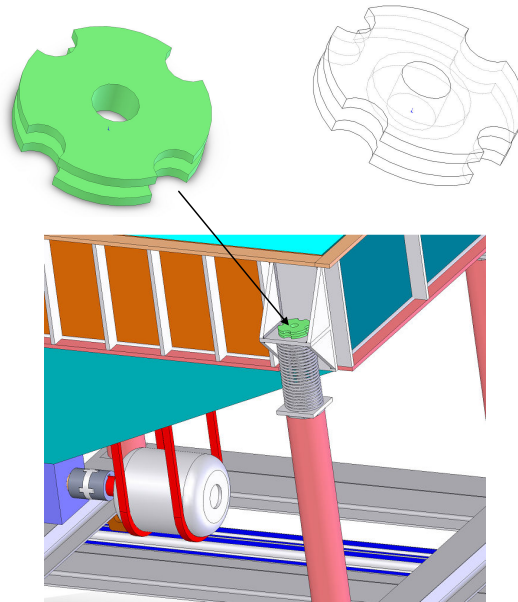


Figura 3.26 Celda de carga.

3.4.2.7 Columnas de carga.

Los tubos estructurales que se fabrican en México, se distribuyen bajo los estándares de la norma IRAM-IAS U500-2590 Tipo I y II. La estructura que se está recomendando para nuestro estudio toma en cuenta los materiales disponibles en el mercado en acero al carbono 1035. Las columnas transmitirán el peso de la unidad superior desde la base del marco estructural superior hasta los resortes de carga y funcionando como base “flotante” para evitar el contacto de la unidad superior de carga con el resto de la máquina. El término flotante se toma como referencia de los sistemas de alimentación de los hornos para hornear alimentos^{vii}, por otra parte para efectos de soportar una carga tan grande es más recomendable utilizar un tubo como columna que una viga, reduciendo el costo y el peso de las piezas por unidad de longitud (ver figura 3.27). Para nuestro equipo ocuparemos cuatro unidades.

^{vii} Los sistemas de almacenaje y alimentación de hornos de alimentos utilizan este término para especificar un conjunto de materiales “pesados al aire”.

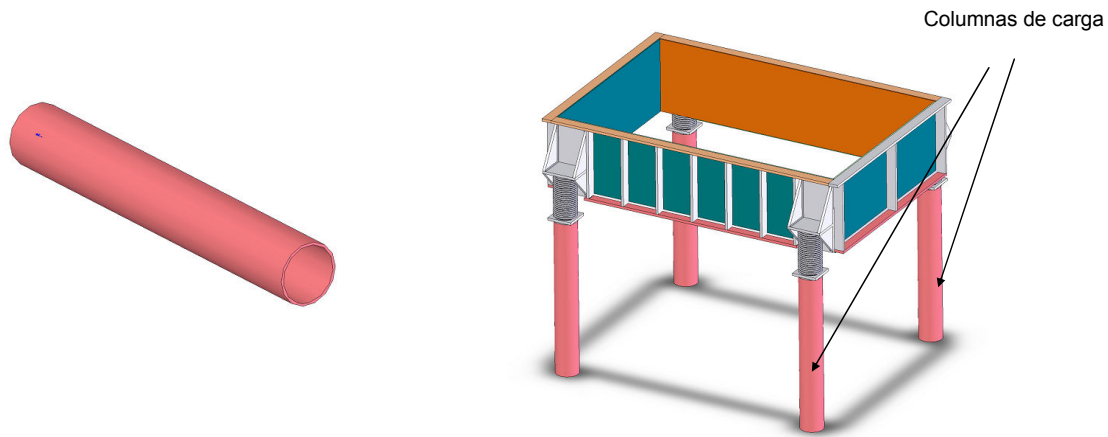


Figura 3.27 Columna de carga.

3.4.2.8 Motor y alimentador sinfin de material.

El alimentador que se utilizará trabaja en base a un motor de corriente directa el cual ajusta la velocidad de giro y a su vez transmite la fuerza necesaria para mover el gusano. Una vez que el material entra a la cámara este se transporta a la salida de la boca de la caja del gusano sinfín para depositar el material dentro del horno de fusión (figura 3.28). Los materiales (como se ha explicado anteriormente) al estar en contacto con materiales altamente corrosivos son en acero inoxidable 316L. El motor es un equipo de 10 HP de potencia de corriente directa, conectado a un sistema transformador de corriente y un frecuencímetro con inversor integrado para evitar “atascamientos” del sistema.

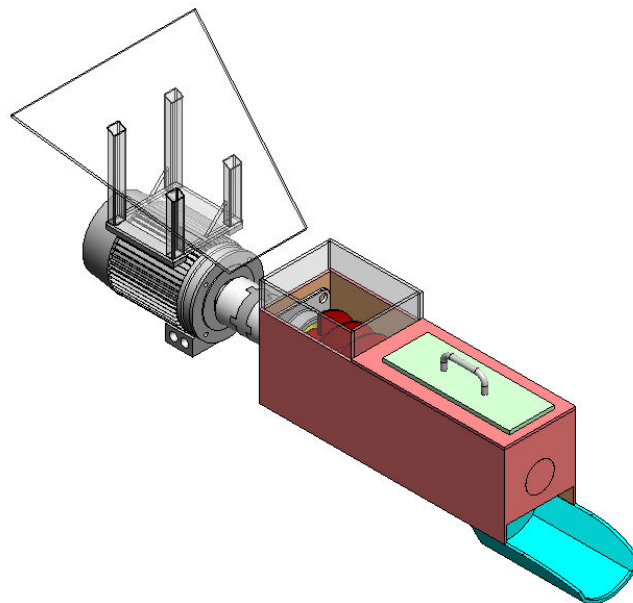


Figura 3.28 Motor y alimentador sinfin de material.

Los elementos estructurales de la tolva descansarán en este marco, el cual servirá para transmitir todo el peso y el movimiento del sistema a las rodapiamientos de este conjunto. Las vigas son fabricadas en acero 1035 y los rodapiamientos certificados con materiales “SKF”. La integración de estos elementos proporcionará un movimiento de desplazamiento suave y confiable (figura 3.29).

3.4.2.9 Marco inferior y rodapiamientos de carga.

Los elementos estructurales de la tolva descansarán en este marco, el cual servirá para transmitir todo el peso y el movimiento del sistema a los rodapiamientos de este conjunto. Las vigas son fabricadas en acero 1035 y los rodapiamientos certificados con materiales “SKF”. La integración de estos elementos proporcionará un movimiento de desplazamiento suave y confiable (figura 3.29).

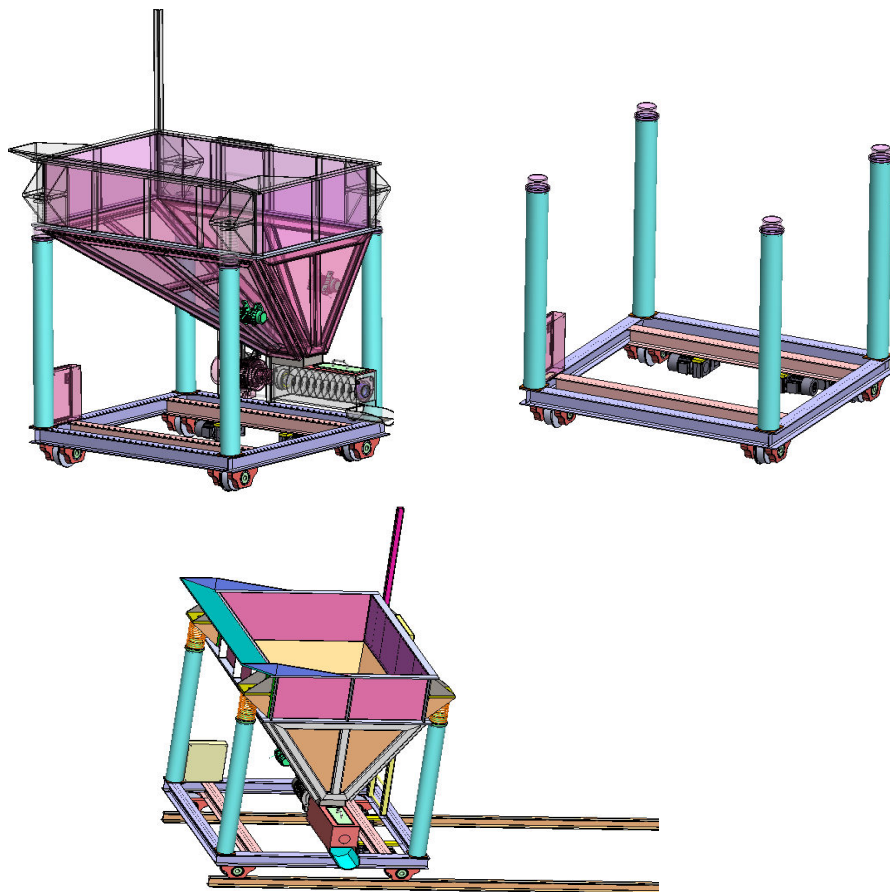


Figura 3.29 Marco inferior de carga y rodapiamientos.

Los elementos estructurales y el peso de todo el conjunto (tolvas, alimentador sinfín, materiales, motores etc.) se transmitirán a los rieles inferiores para transmitir movimiento transversal al conjunto y acercarlo para la alimentación del material a la boca de cada horno fusor.

Este capítulo tiene relación con capítulos posteriores debido a que en este apartado se describe el funcionamiento del equipo que sirve como base para el desarrollo de la validación del diseño y la simulación de esfuerzos.

CAPITULO 4

VALIDACION DEL DISEÑO Y SIMULACIÓN DE ESFUERZOS

En este capítulo se tratará la modelación de esfuerzos de las unidades que conforman el cargador de material, con la selección de materiales de construcción y las cargas a las cuales los componentes estarán sometidos. Se explicarán las bases fundamentales del desarrollo de la aplicación de elementos finitos para obtener de forma gráfica el comportamiento de los componentes para asegurar el funcionamiento final del ensamble.

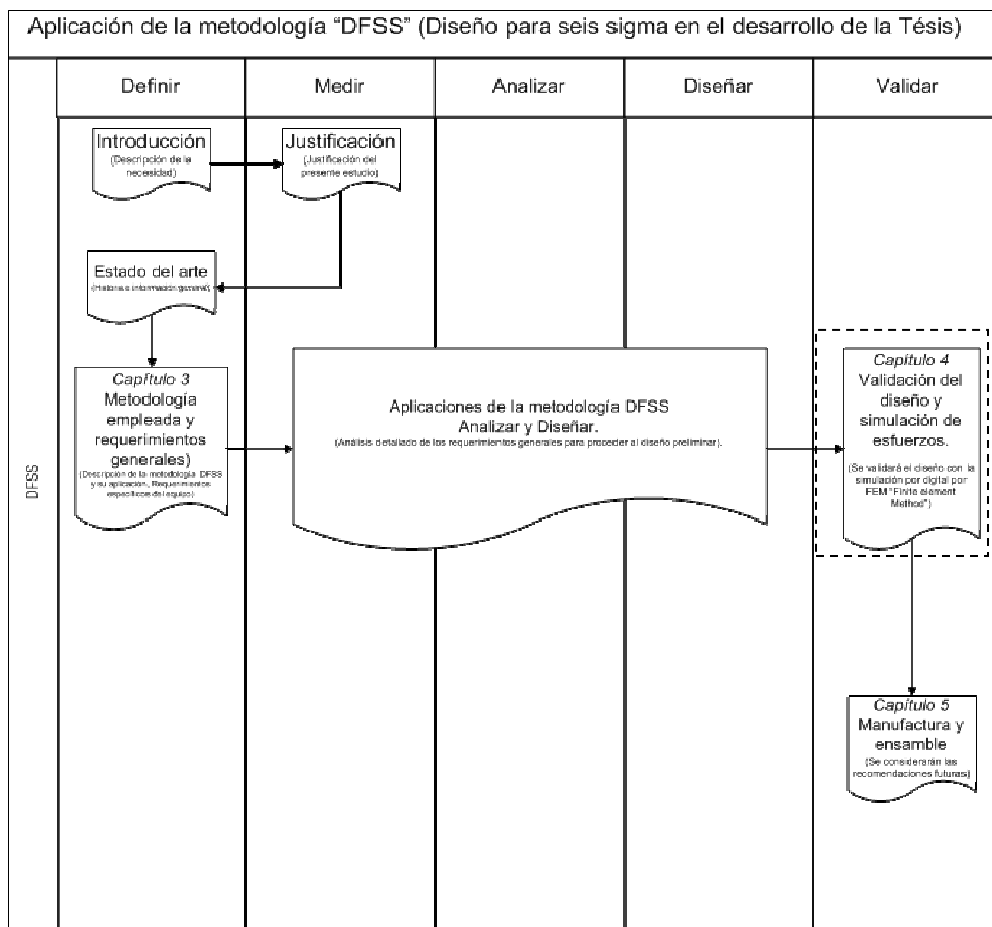


Tabla 1.5 Aplicación de la metodología DFSS en el desarrollo de la tesis.

4.1 Introducción

Todos los elementos que se han interrelacionado en este estudio se validarán para justificar cada ensamble, además cada una de las piezas serán sometidas a la simulación de

esfuerzos modelando por el método de elemento finito en “solid works”. Los objetivos de este capítulo de enumeran como sigue, para cada elemento se deberá:

- 1.- Definir y analizar el elemento a modelar (cargas, materiales, propiedades, etc).
- 2.- Modelar el elemento y determinar los esfuerzos concurrentes.
- 3.- Realizar las anotaciones generales del elemento con sus características comerciales para el posterior análisis de costos de manufactura y fabricación.

Tomemos como punto de partida un diagrama general de cuerpo libre en donde indicaremos las principales variables del sistema para empezar a hacer desglose de cada elemento e interrelacionar las fuerzas, reacciones y otros elementos del estudio de la unidad cargadora (ver figura 4.1).

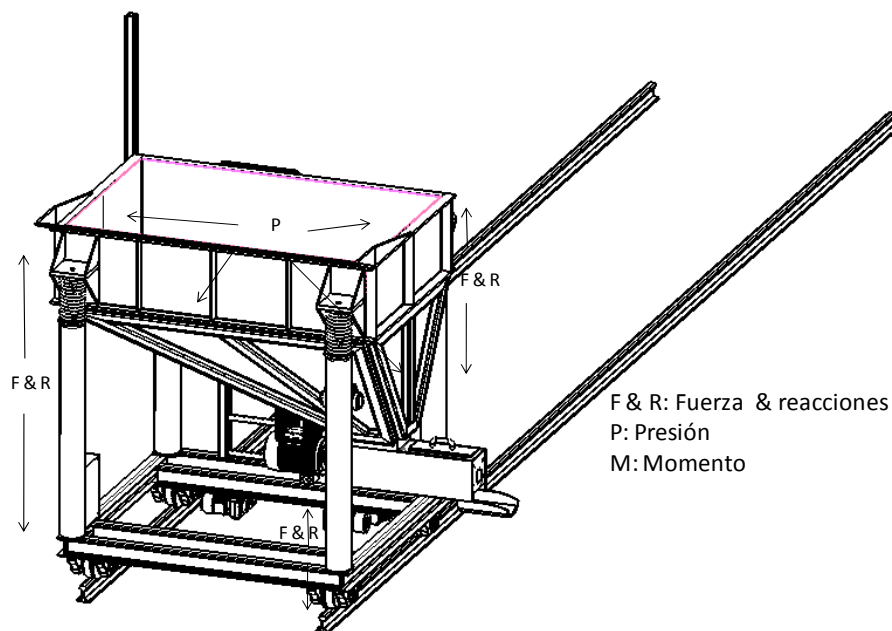


Figura 4.1 Diagrama general de cuerpo libre del cargador de material.

4.2 Método de diseño por elementos finitos (FEM)^k

El método de los elementos finitos o diferencias finitas (MEF en español o FEM en inglés) es un método numérico general para la aproximación de soluciones de ecuaciones diferenciales parciales muy utilizado en diversos problemas de ingeniería y física.

Introducción: El método se basa en dividir el cuerpo, estructura o dominio (medio continuo) sobre el que están definidas ciertas ecuaciones integrales que caracterizan el comportamiento físico del problema— en una serie de subdominios no intersectantes entre sí denominados “elementos finitos”. El conjunto de elementos finitos forma una partición del dominio también denominada discretización. Dentro de cada elemento se distinguen una serie de puntos representativos llamados “nodos”. Dos nodos son adyacentes si pertenecen al mismo elemento finito; además, un nodo sobre la frontera de un elemento finito puede pertenecer a varios elementos. El conjunto de nodos considerando sus relaciones de adyacencia se llama “malla”.

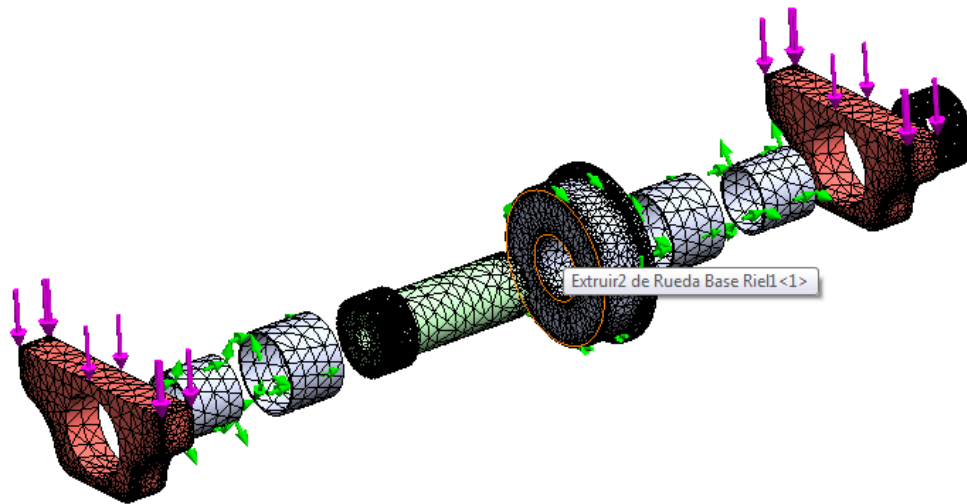
Los cálculos se realizan sobre una malla o discretización creada a partir del dominio con programas especiales llamados generadores de mallas (en nuestro caso utilizaremos el software interno de “solid works” 2010”) en una etapa previa a los cálculos que se denomina pre-proceso. De acuerdo con estas relaciones de adyacencia o conectividad se relaciona el valor de un conjunto de variables incógnitas definidas en cada nodo y denominadas grados de libertad. El conjunto de relaciones entre el valor de una determinada variable entre los nodos se puede escribir en forma de sistema de ecuaciones lineales (o linealizadas). La matriz de dicho sistema de ecuaciones se llama matriz de rigidez del sistema. El número de ecuaciones de dicho sistema es proporcional al número de nodos.

Típicamente el método de los elementos finitos se programa computacionalmente para calcular el campo de desplazamientos y, posteriormente, a través de relaciones cinemáticas y constitutivas las deformaciones y tensiones respectivamente, cuando se trata de un problema de mecánica de sólidos deformables o más generalmente un problema de mecánica de medios continuos. El método de los elementos finitos es muy usado debido a su generalidad y a la facilidad de introducir dominios de cálculo complejos (en dos o tres dimensiones). Además el método es fácilmente adaptable a problemas de transmisión de calor, de mecánica de fluidos para calcular campos de velocidades y presiones (mecánica de fluidos computacional, CFD) o de campo electromagnético. Dada la imposibilidad práctica de encontrar la solución analítica de

estos problemas, con frecuencia en la práctica ingenieril los métodos numéricos y, en particular, los elementos finitos, se convierten en la única alternativa práctica de cálculo.^{viii}

Básicamente los pasos a seguir en el análisis de estructuras mediante el método de los desplazamientos a través del MEF son:

1. El continuo se divide, mediante líneas o superficies imaginarias en un número de elementos finitos. Esta parte del proceso se desarrolla habitualmente mediante algoritmos incorporados a programas informáticos de mallado durante la etapa de pre proceso (figura 4.2).



4.2 Ejemplo de mallado en pieza.

2. Se supone que los elementos están conectados entre sí mediante un número discreto de puntos o “nodos”, situados en sus contornos. Los desplazamientos de estos nodos serán las incógnitas fundamentales del problema, tal y como ocurre en el análisis simple de estructuras por el método matricial.

3. Se toma un conjunto de funciones que definan de manera única el campo de desplazamientos dentro de cada “elemento finito” en función de los desplazamientos nodales de dicho elemento. Por ejemplo el campo de desplazamientos dentro de un elemento lineal de dos nodos podría venir definido por: $u = N_1 u_1 + N_2 u_2$, siendo N_1 y N_2 las funciones comentadas (funciones de forma) y, u_1 y u_2 los desplazamientos en el nodo 1 y en el nodo 2.

^{viii} Una importante propiedad del método es la convergencia; si se consideran particiones de elementos finitos sucesivamente más finas, la solución numérica calculada converge rápidamente hacia la solución exacta del sistema de ecuaciones. Para mayores detalles se recomienda consultar el libro de Akin, J.E. and Wooten, J.W., "Tokamak Plasma Equilibria by Finite Elements," Finite Elements in Fluids III, Chapter 21, ed. R.H. Gallagher, New York: JohnWiley (1978), tomando en cuenta que va dirigido a ingenieros mecánicos.

4. Estas funciones de desplazamientos definirán entonces de manera única el estado de deformación del elemento en función de los desplazamientos nodales. Estas deformaciones, junto con las propiedades constitutivas del material, definirán a su vez el estado de tensiones en todo el elemento, y por consiguiente en sus contornos.

5. Se determina un sistema de fuerzas concentradas en los nodos, tal que equilibre las tensiones en el contorno y cualesquiera cargas repartidas, resultando así una relación entre fuerzas y desplazamientos de la forma $\mathbf{F} = \mathbf{k} \cdot \mathbf{u}$, que como vemos es similar a la del cálculo matricial.

6. La resolución del sistema anterior permite obtener los desplazamientos en los nodos y con ellos definir de manera aproximada el campo de desplazamientos en el elemento finito.

7. En la etapa de postproceso se presentan los resultados, generalmente de forma gráfica para su análisis.

Opciones: Un amplio rango de funciones objetivo (variables con el sistema) está disponible para la minimización ó la maximización: (masa, volumen, temperatura, energía tensional, estrés tensional, fuerza, desplazamiento, velocidad, aceleración), sintético (definidos por el usuario).

Hay múltiples condiciones de carga que se pueden aplicar al sistema, algunos ejemplos son: puntuales, presión, térmicas, gravedad, y cargas centrífugas estáticas, cargas térmicas de soluciones del análisis de transmisión de calor, desplazamientos forzados, flujo de calor y convección, puntuales, de presión, y cargas de gravedad dinámicas.

4.3 Mecánica de las fracturas, conceptos básicos.¹⁹

En forma breve, el estudio de la mecánica de las fracturas principia con la suposición de que todos los materiales reales contienen grietas de algún tamaño, aun cuando sólo sean submicroscópicas. Si hay fractura frágil, se debe a que las condiciones de carga y del medio ambiente (principalmente la temperatura) son tales que ocasionan una propagación casi

instantánea hasta provocar la falla de una o más de las grietas originales. Si interviene la carga a la fatiga, las grietas iniciales pueden crecer muy lentamente hasta que una de ellas alcanza dimensiones críticas (por la carga, geometría y medio ambiente implicados, ver figura 4.2a), momento en el cual ocurre la fractura total.

En forma teórica, el factor de concentración de esfuerzo en la base de una grieta se acerca al infinito debido a que el radio en la raíz de la grieta se aproxima a cero (como r/d , que se aproxima a cero en la figura 4.35). Esto significa que si el material es un tanto dúctil, la cedencia se presentará dentro de un pequeño volumen de material en la base de la grieta, provocando una redistribución del esfuerzo. Por lo tanto, el factor efectivo de concentración de esfuerzo es considerablemente menor que el infinito y, además, varía con la intensidad del esfuerzo nominal aplicado. En el enfoque de la mecánica de las fracturas no se intenta evaluar una concentración efectiva de esfuerzo; más bien, lo que se evalúa es un factor K de intensidad de esfuerzo. Se puede considerar como una medida del esfuerzo local efectivo en el fondo de la grieta. Una vez que se ha evaluado, K se compara con un valor límite de K que es necesario para la propagación de la grieta en ese material. Este valor límite es una característica del material, llamado tenacidad a la fractura o factor de la intensidad crítica del esfuerzo, K que se determina mediante pruebas estándar.

Los valores más conocidos de K y K_c son para la carga a la tensión, la cual se llama *Modo I*. De acuerdo con esto, los valores se designan como K_I y K_{Ic} . Los Modos II y III implican carga por cortante. El estudio presentado aquí trata sólo del Modo I.

Para efectos de limitar el uso de las teorías de fallas, solamente enunciaremos la más importante para nuestro estudio en cuestión, dejando al lector información suficiente para aumentar el conocimiento y profundidad del estudio en las referencias finales.



Figura 4.2a Ejemplo de falla. Buque tanque T-2 "S.S. Schenectady", partido en dos en el muelle para la instalación final de accesorios, Portland, Oregon. 16 de enero de 1943. (Cortesía de *Ship Structures Com-mitee*, U.S. Government.)

4.4 Teoría de la energía de la máxima distorsión (Teoría del máximo esfuerzo cortante sobre un plano octaedro).²⁰

Un aspecto notable de esta teoría es que las ecuaciones implicadas pueden deducirse a partir de cuando menos cinco hipótesis diferentes. Las dos más importantes se relacionan con los nombres dados a la teoría en el título de esta sección. Con frecuencia se le da crédito por esta teoría a M. T. Hueber (Polonia), R. von Mises (Alemania y Estados Unidos) y H. Hencky (Alemania y Estados Unidos), quienes contribuyeron a ella en 1904, 1913 y 1925 respectivamente. En fecha más reciente, Timoshenko ha sacado a la luz el hecho de que fue propuesta en 1856 por James Clerk Maxwell de Inglaterra quien, como Coulomb, es más conocido por sus contribuciones a la ingeniería eléctrica que por sus importantes contribuciones al campo de la mecánica.

En forma breve, la teoría de la energía de la máxima distorsión sostiene que cualquier material esforzado en forma elástica sufre un (ligero) cambio en forma, volumen o en ambos. La energía necesaria para producir este cambio se almacena en el material en forma de energía elástica. Pronto se supo que los materiales usados en ingeniería pueden soportar enormes presiones hidrostáticas (es decir, $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3 =$ elevada compresión) sin daño. Por lo tanto, se postuló que un material dado tiene una capacidad limitada y definida para absorber energía de

distorsión (es decir, energía que tiende a cambiar la forma, pero no el tamaño), y que los intentos de someter el material a cantidades mayores de energía de distorsión provocaban cedencia.

Cuando se usa esta teoría es conveniente trabajar con un esfuerzo equivalente, σ_e , definido como el valor del esfuerzo uniaxial a la tensión que produciría el mismo nivel de energía de distorsión (por lo tanto, según la teoría, la misma posibilidad de falla) que los esfuerzos reales indicados. En términos de los esfuerzos principales que existen, la ecuación para el esfuerzo equivalente es

$$\sigma_e = \frac{\sqrt{2}}{2} ((\sigma_2 - \sigma_1)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2 + (\sigma_3 - \sigma_2)^2)^{1/2} \quad (1)$$

Para el caso común del esfuerzo biaxial, ésta se reduce a

$$\sigma_e = (\sigma_1^2 + \sigma_2^2 - \sigma_1\sigma_2)^{1/2} \quad (2)$$

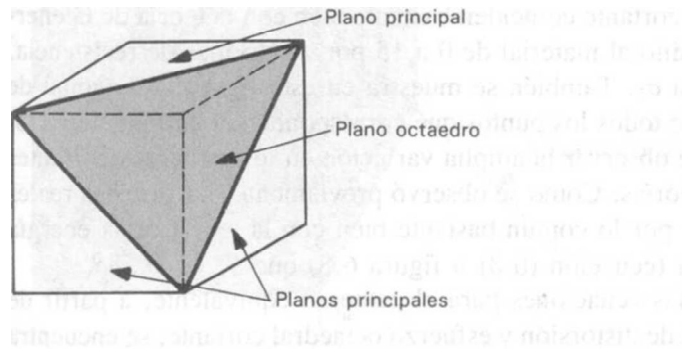
Si los esfuerzos directos σ_x , σ_y y τ_{xy} se obtienen con más facilidad, una forma conveniente de la ecuación del esfuerzo equivalente es

$$\sigma_e = (\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x\sigma_y + 3\tau_{xy}^2)^{1/2} \quad (3)$$

Si sólo están presentes σ_x y τ_{xy} la ecuación se reduce a

$$\sigma_e = (\sigma_x^2 + 3\tau_{xy}^2)^{1/2} \quad (4)$$

Una vez que se ha calculado el esfuerzo equivalente, se compara con la resistencia a la cedencia obtenida con la prueba estándar a la tensión. Si σ_e excede a S_{yt} , se pronostica la cedencia (figura 4.2b).



Un plano octaedral ilustrado con respecto a los planos principales.

Figura 4.2b Ilustración general de la teoría.

4.5 Factores de seguridad, conceptos y definición.

El significado original de un factor de seguridad fue un número entre el cual se dividía la resistencia última a la tensión de un material con objeto de obtener un valor de "esfuerzo de trabajo" o "esfuerzo de diseño". Estos esfuerzos de diseño, a su vez, con frecuencia se usaron en cálculos muy simplificados que no dieron márgenes para factores tales como concentración de esfuerzos, impacto, fatiga, diferencias entre propiedades del material con respecto al espécimen de la prueba estándar y en la parte manufacturada, y así sucesivamente. Como resultado, todavía se encuentran en los manuales factores de seguridad recomendados con valores tan altos como 20 y 30. El diseño de la ingeniería moderna toma en cuenta racionalmente todos los factores posibles, dejando relativamente pocos puntos de incertidumbre para cubrirlos con un factor de seguridad que, por lo común, queda dentro de los límites de 1.5 a 3.

La práctica de la ingeniería moderna también basa el factor de seguridad en la resistencia significativa del material, no necesariamente en la resistencia estática a la tensión. Por ejemplo, si la falla implica cedencia estática, el factor de seguridad relaciona (aplicando una teoría apropiada de las fallas) el esfuerzo estático debido a la carga anticipada (llamada el esfuerzo significativo) con la resistencia estática a la cedencia del material (llamada la resistencia significativa), si los esfuerzos significativos implican fatiga, entonces el factor de seguridad se basa en la resistencia a la fatiga; si hay fractura como si el material fuera frágil, el factor se basa en la resistencia a la tensión, y así sucesivamente. Por lo tanto, el factor de seguridad N , puede definirse como:

$$N = \frac{\text{Resistencia significativa del material}}{\text{Esfuerzo significativo correspondiente debido a cargas normales}} \quad (5)$$

El factor de seguridad también puede definirse en términos de cargas:

$$N = \frac{\text{Sobrecarga de diseño}}{\text{Carga normal}} \quad (6)$$

Donde la sobrecarga de diseño se define como la carga precisamente suficiente como para provocar la falla.

En la mayoría de los casos, las dos definiciones de factor de seguridad son equivalentes. Por ejemplo, si un material tiene una resistencia significativa de 200 MPa y el esfuerzo significativo es 100 MPa, el factor de seguridad es 2. Considerando la otra forma, la sobrecarga de diseño necesaria para llevar el esfuerzo hasta el valor límite de 200 MPa es el doble de la carga normal, dando entonces un factor de seguridad de 2. Aunque la distinción entre las ecuaciones anteriores puede parecer trivial, se recomienda que se use el concepto de sobrecarga de diseño. Otro ejemplo que apoya el concepto de la sobrecarga de diseño implica el caso general de carga de fatiga, la cual consiste en una combinación de cargas medias (o estáticas) y alternas. La clase de sobrecarga que tiene más probabilidad de ocurrir puede hacer que se incrementen alguna o ambas componentes de carga. El concepto de la sobrecarga de diseño permite que el factor de seguridad se calcule con respecto a cualquier clase de sobrecarga que sea de interés. Un aviso de precaución: de lo anterior, se concluye que hay casos en los cuales el término "factor de seguridad" es ambiguo. Por lo tanto, es necesario tener la seguridad de que se definen claramente todos los casos donde puede haber ambigüedad.

4.6 Factores de seguridad. Selección de un valor numérico. ²¹

Después de ir tan lejos como es práctico en la determinación de la resistencia significativa de la parte real fabricada y de los detalles de la carga a la cual se sujetará, siempre queda algún margen de incertidumbre que debe cubrirse con un factor de seguridad. La parte debe diseñarse para soportar una "sobrecarga de diseño" algo más grande que la carga normalmente esperada.

En el último análisis, la selección del factor de seguridad queda bajo el juicio de ingeniería basado en la experiencia. Algunas veces estas selecciones se formalizan en especificaciones de diseño para situaciones específicas, por ejemplo, las de ASME de recipientes a presión, los diversos códigos de construcción y los valores estipulados del factor de seguridad en los contratos legales para el diseño y desarrollo de máquinas especiales. Así mismo los factores de seguridad frecuentemente se incorporan en programas de computadora para el diseño de partes específicas. En estos casos, la responsabilidad de hacer los juicios de ingeniería recae en el ingeniero responsable del código o programa de computadora. Pero sólo en parte, debido a que el ingeniero que usa el código o el programa debe quedar satisfecho de que este detalle del código o programa es apropiado en forma absoluta para la aplicación particular.

La selección de un valor apropiado para el factor de seguridad se basa principalmente en los cinco factores siguientes:

1.- Grado de incertidumbre de la carga. En algunos casos, pueden determinarse las cargas con certeza virtual. Las fuerzas centrífugas en el rotor de un motor C.A. no pueden exceder a las calculadas para la velocidad síncrona. Las cargas que actúan en el resorte de la válvula de un motor están establecidas en forma definida por las posiciones "válvula abierta" y "válvula cerrada", pero, ¿qué cargas deberán usarse para el diseño de las partes que forman la suspensión de un automóvil, dónde variarán extremadamente las cargas dependiendo de la severidad del uso y el abuso? ¿Y qué pasará en una situación semejante, pero en una clase completamente nueva de máquina para la cual no hay experiencia previa que sirva como guía? Mientras mayor sea la incertidumbre, más conservador deberá ser el criterio del ingeniero al seleccionar una sobrecarga apropiada de diseño o el factor de seguridad.

2.- Grado de incertidumbre en la resistencia del material. En forma ideal, el ingeniero debe tener información extensa relacionada con la resistencia del material con el que se manufacturaron las partes reales (o de uno muy similar), y con las pruebas a temperaturas y ambientes similares a los que se encontrarán en la realidad. Rara vez éste es el caso. Con más frecuencia la información disponible sobre la resistencia del material se obtuvo de muestras más pequeñas que la parte real, sin experimentar con ningún trabajo en frío que pueda intervenir en la

fabricación de la parte, y que se probaron a la temperatura ambiente en aire común. Además, hay alguna variación en la resistencia de una muestra a otra. Algunas veces el ingeniero debe trabajar con resultados de pruebas de algún material para el cual no se conoce información sobre el tamaño del espécimen y grado de distorsión de los datos (y las relaciones entre el único valor reportado y el margen total de distorsión). Además, las propiedades del material, en algunos casos, pueden cambiar en forma significativa durante la vida de servicio de la parte. Al considerar todos estos factores, a medida que la incertidumbre es mayor, se debe incrementar el factor de seguridad que se use.

3.- Incertidumbres en relación con las cargas aplicadas con respecto a la resistencia del material. En este punto el lector ya conoce un número de incertidumbres posibles, como la a) validez de las suposiciones implicadas en las ecuaciones estándar para calcular los esfuerzos nominales, b) precisión para determinar los factores efectivos de concentración de esfuerzos implicados, c) precisión al estimar los esfuerzos residuales, si hay algunos producidos en la fabricación de la parte y d) adaptabilidad de cualquiera teoría de las fallas y otras relaciones usadas para estimar "resistencia significativa" a partir de los datos disponibles de las pruebas de resistencia en laboratorio.

4.- Consecuencias de la falla, seguridad humana y economía. Si las consecuencias de la falla son catastróficas, por supuesto deben usarse factores de seguridad relativamente grandes. También, si la falla de una parte relativamente barata puede ocasionar que se detenga una línea de ensamble mayor, la economía simple dicta aumentar varias veces el costo de esta parte (si es necesario) con objeto de eliminar virtualmente la posibilidad de su falla.

Un punto importante que se debe considerar es la naturaleza de una falla. Si la falla implica cedencia del material dúctil, las consecuencias tienen posibilidad de ser menos severas que para la fractura del material frágil. De acuerdo con esto, los factores de seguridad que se recomiendan en los manuales en forma invariable son mayores para materiales frágiles.

5.- Costo por proporcionar un factor elevado de seguridad. Este costo siempre implica una consideración monetaria, y también puede implicar consumo importante de recursos. En

algunos casos, un factor de seguridad mayor que el necesario puede tener serias consecuencias. Un ejemplo representativo es un avión hipotético con factores de seguridad excesivos que lo hacen demasiado pesado para ¡volar! Con respecto al diseño de un automóvil, es posible aumentar los factores de seguridad en las partes estructurales hasta el punto donde un automovilista "maníaco" no pudiera causar una falla aunque tratara. Pero hacerlo sería castigar a los automovilistas "sanos" al hacer que paguen por partes más fuertes que las que pueden usar. Lo mejor, por supuesto, sería motivarlos a que compraran automóviles ¡de la competencia!

Un punto clave en la selección del factor de seguridad es el equilibrio. Todas las partes de una máquina o sistemas deben tener factores de seguridad consistentes. Las partes que implican posibilidad de daño humano o alto costo deben tener los factores de seguridad mayores; las partes que son semejantes deben, por lo general, tener el mismo factor de seguridad y, así sucesivamente. De hecho, el equilibrio es tal vez la clave para la selección del factor de seguridad apropiada, equilibrio basado en buen criterio ingenieril, el cual a su vez está basado en toda la información disponible y la experiencia.

Después de haber leído tanto acerca de la selección del factor de seguridad, el lector tiene derecho a conocer algunas recomendaciones acerca de los valores del factor de seguridad que pueden ser útiles, cuando menos como una guía. Con este fin, se sugieren las siguientes recomendaciones del Prof. Joseph Vidosic. Esos factores de seguridad se basan en la resistencia a la cedencia.

- a) $N = 1.25$ a 1.5 para materiales excepcionalmente confiables que se usan bajo condiciones controladas y sujetos a cargas y esfuerzos que puede determinarse con certeza; usados en forma casi invariable donde el bajo peso es una consideración particularmente importante.
- b) $N = 1.5$ a 2 para materiales bien conocidos, bajo condiciones razonablemente constantes del ambiente, sujetos a cargas y esfuerzos que pueden determinarse fácilmente.
- c) $N = 2$ a 2.5 para materiales promedio que operan en ambientes comunes y sujetos a cargas y esfuerzos que pueden determinarse.

- d) $N = 2.5$ a 3 para materiales frágiles o para los que no han sido examinados bajo condiciones promedio del ambiente, carga y esfuerzo.
- e) $N = 3$ a 4 para materiales que no se han examinado y que se han usado bajo condiciones promedio de ambiente, carga y esfuerzo.
- f) $N = 3$ a 4 debe usarse también con materiales mejor conocidos que se usarán en medios inciertos o estarán sometidos a esfuerzos indeterminados.
- g) Cargas repetidas: los factores establecidos en los puntos 1 a 6 son aceptables, pero se deben aplicar a la resistencia a la fatiga y no a la resistencia a la cedencia del material.
- h) Fuerzas de impacto: los factores dados en los puntos 3 a 6 son aceptables, pero se debe incluir un factor por impacto.
- i) Materiales frágiles: si la resistencia final se usa como el máximo teórico, los factores presentados en los puntos 1 a 6 se deben casi duplicar.
- j) Cuando son favorables factores más altos, se debe realizar un análisis más cuidadoso del problema antes de decidir su uso.

4.7 Simulación de esfuerzos.

4.7.1 Validación y simulación de esfuerzos para el conjunto de tolvas.

Todo proceso debe ser validado para poder entender los diferentes esquemas de trabajo de las piezas que se van a proponer para su uso. La iteración como complemento importante del análisis se basa en el siguiente esquema (figura 4.3):

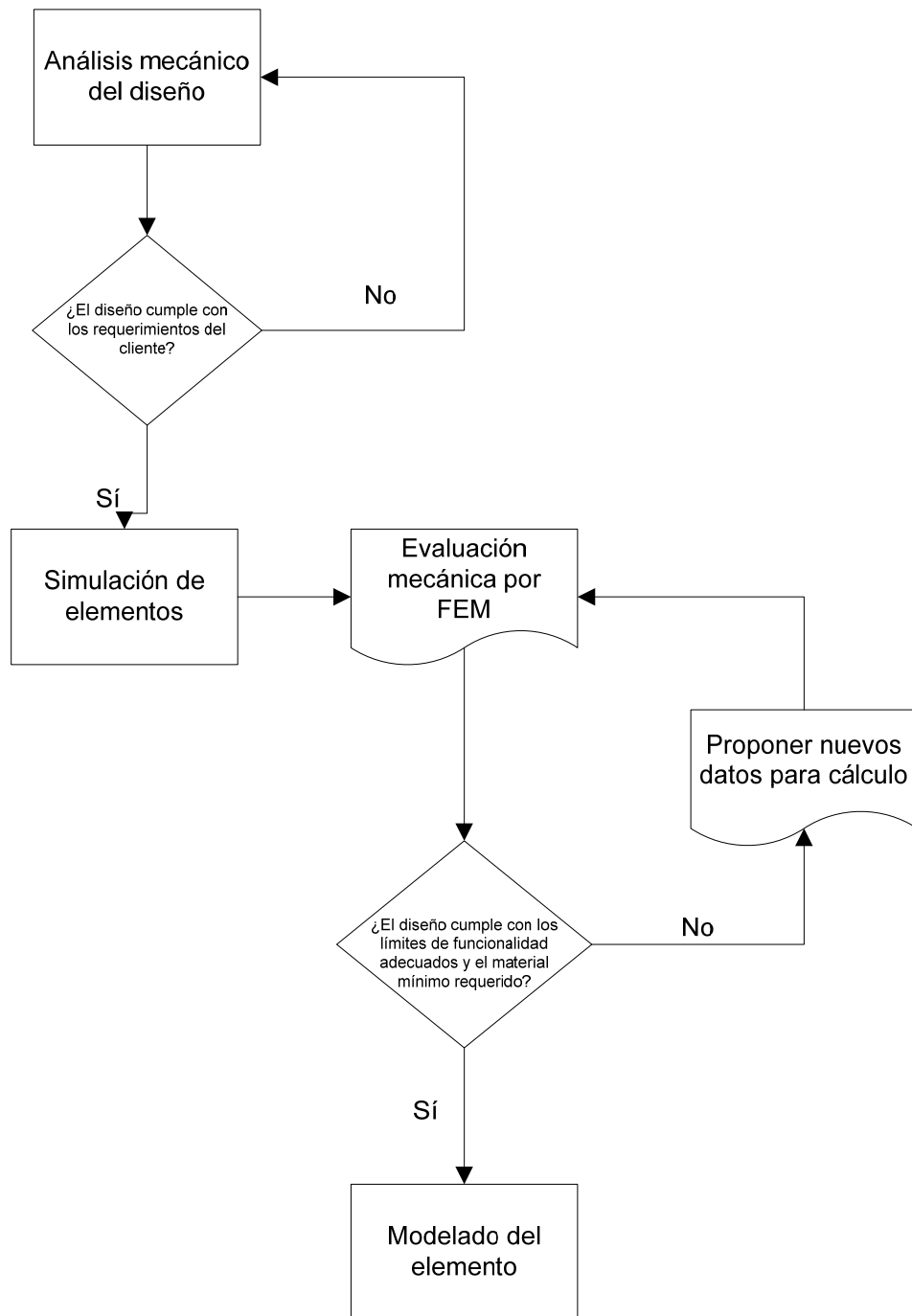


Figura 4.3 Diagrama para la iteración del producto.

Empezaremos con la determinación de las cargas del material que hay que soportar iniciando por las tolvas (figura 4.4)

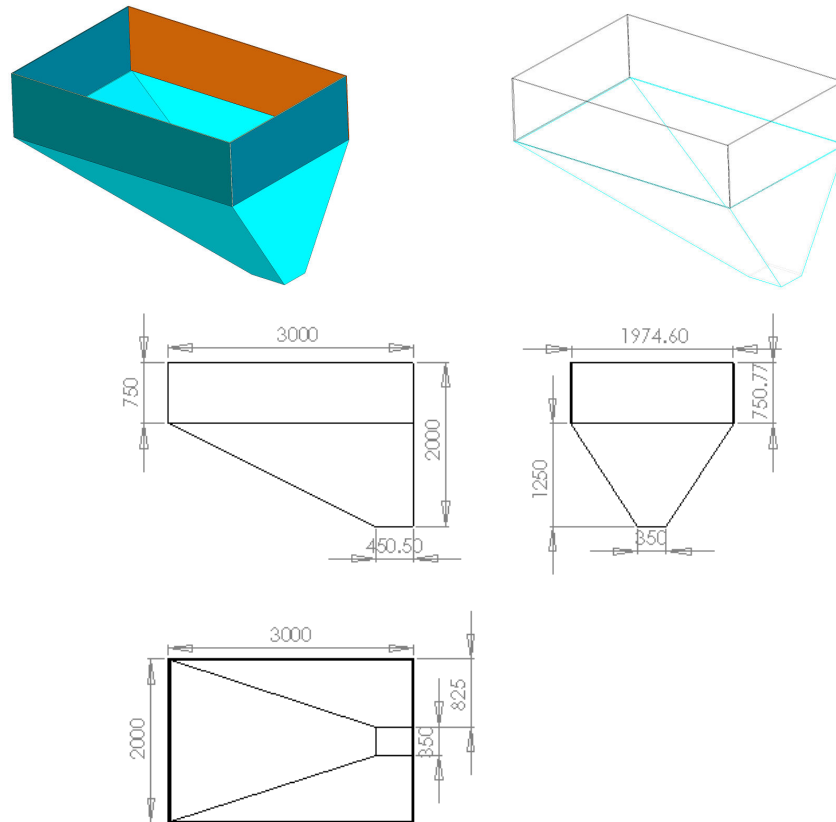


Figura 4.4 Detalle de ensamble de tolvas (unidades en centímetros).

Definiendo variables para el cálculo de material a contener:

Variables:

Mm: Masa del material a contener (kg)

Wm: Peso del material (N)

Fs: Factor de seguridad (adimensional)

P: Presión del material (N/m²)

Vm: Volumen del material (m³)

ρ_m : Densidad del material (kg/ m³)

g: Aceleración de la gravedad (9,81 m/s²)

La carga a contener de material está dada en función de las siguientes características:

Material: Celda de plomo de batería ácida de desecho.

Densidad del material: 10.5 ton/ m³ (promedio)

Cantidad de material a alimentar (30 ton/horno fusor), 60 Ton por batch.

Volumen requerido para la alimentación de hornos = 60/10.5 = 5.71 m³

Calculando los volúmenes de material en las tolvas (figura 4.5)

Para la tolva 1:

Calculando volumen en base a un cubo

$V = (\text{lado} * \text{lado} * \text{altura})$

$V = (3 * \text{lado} * \text{lado} * \text{altura}) = 3 * 2 * 0.75$

$V = 3 * 2 * 0.75 = 4.5 \text{ m}^3$

Para la tolva 2

Calculando volumen en base a un prisma

$V = (1/6)((H_p + (a + a_1)(b + b_1) + a_1 b_1))$

En donde:

H_p : Altura prisma = 1.25 m

a : Longitud base larga superior prisma = 3 m

b : Longitud base corta superior prisma = 2 m

a_1 : Longitud base larga inferior prisma = 0.4505 m

b_1 : Longitud base corta inferior prisma = 0.35 m

$V = (1/6)((1.25 + (3 + 0.4505)(2 + 0.35) + (0.4505)(0.35))$

$V = 1.58 \text{ m}^3$.

Volumen total de tolvas V_t

$V_t = 4.5 + 1.58 = 6.13 \text{ m}^3$.

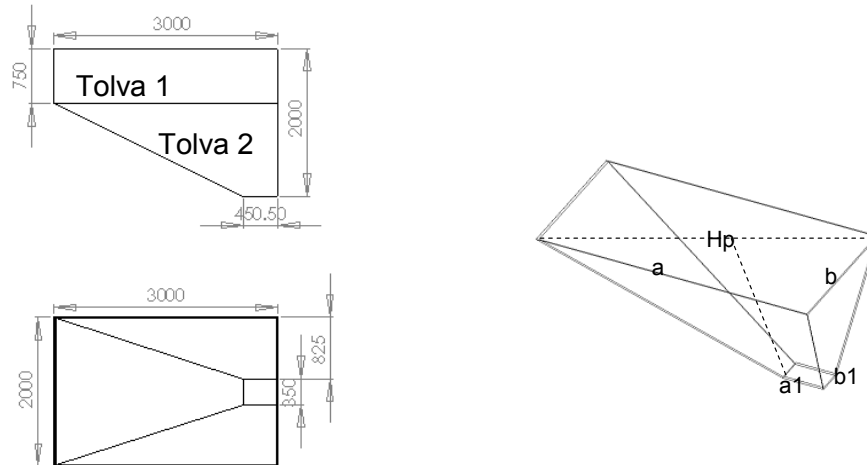


Figura 4.5 Detalles de tolvas (acotaciones en centímetros).

Esto equivale a una carga en peso máxima M_t en las tolvas de:

$$M_t = 10.5 * 6.13 = 64.36 \text{ Ton.}$$

La carga máxima de las tolvas estará comprendida alrededor de 64.36 toneladas de material, por lo cual el diseño deberá justificarse bajo este índice de carga. Realizando un redondeo estándar en el mercado los equipos promedio están diseñados para cargas de 80 toneladas. Por lo cual tomaremos este valor como el que se usará para fines de cálculo.

Empezando con el cálculo del peso que deberá contener cada conjunto de tolvas, iniciaremos por la tolva 1 para realizar el modelado de carga por elementos finitos. Aunque es un recipiente sujeto a presión este se comporta como una “tina contenedora de material” lo que desafortunadamente nos obliga a tomar la necesidad de tener que evaluar el modelo de la tolva conociendo los esfuerzos máximos permitidos del material y los esfuerzos de Von Mises y no por medio de la aplicación de normas y lineamientos de los recipientes a presión del código ASME.

Ante este razonamiento referiremos el uso de la teoría de la energía de la máxima distorsión, éste estudio no pretende hacer exhaustiva la explicación de esta teoría así que propondremos al lector incursionar al respecto a modo de obtener más información.

4.7.1.1 Análisis de tolva número 1 superior:

Determinando razones de carga por unidad de altura de material, ya que no es lo mismo determinar la carga en la superficie que en el fondo del recipiente (ver figura 4.6).

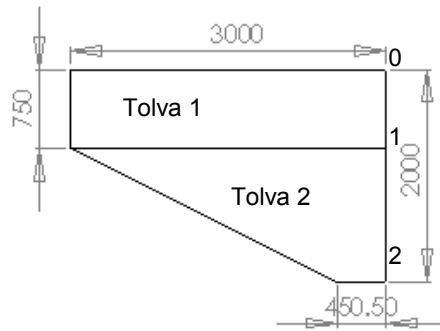


Figura 4.6 Niveles de presión en tolvas.

Determinando la fuerza de presión en “0”:

$$W_m = (M_m)(g) = 64,360 * 9.81 = 631,371.6 \text{ N.}$$

$$P_0 = \rho_m * g * h_0 = 0 \text{ N debido a que la altura inicial es cero.}$$

Determinando la fuerza de presión en “1”:

$P_1 = \rho_m * g * h_1 = 10,500 * 9.81 * 0.75 = 77,253.75 \text{ N/m}^2$, presión máxima en el límite de la tolva 1 y la tolva 2.

Determinando la fuerza de presión en 2

$P_2 = \rho_m * g * h_2 = 10,500 * 9.81 * 2 = 206,010 \text{ N/m}^2$, presión máxima en el fondo de la tolva 2.

Para efectos de cálculo, se tomará en consideración los valores de presión de material en las tolvas, ya que se comportan como recipientes sujetos a presión.

Realizando el cálculo de la tolva 1 con los siguientes valores:

Espesor de la placa $t = 12,7 \text{ mm}$ (1/2 in)
Propiedades acero Inoxidable 316L
Módulo de elasticidad: $1.93 \times 10^{11} \text{ N/m}^2$
Resistencia a la tensión: $5.8 \times 10^8 \text{ N/m}^2$
Resistencia última (ruptura): $1.72369 \times 10^8 \text{ N/m}^2$
Módulo de Poisson: 0.27
Densidad: $8,000 \text{ kg/m}^3$.

4.7.1.2 Análisis de presión tolva No. 1 superior:

Como la tolva almacena material, esta ejerce una presión hidrostática que varía linealmente con la profundidad. Se aplica una presión con variación lineal $(p(y) = \gamma y)$ ^{ix} a todas las caras internas del tanque por debajo de la superficie del material (tolva llena), entendiendo que la distancia vertical medida empieza desde la superficie del material (ver figura 4.7)

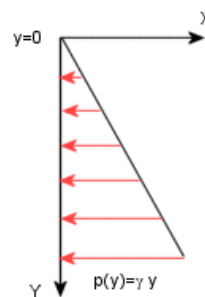


Fig. 4.7 Distribución de presión del material dentro de la tolva contenedora.

Es pertinente aclarar que la tolva superior está limitada originalmente por las placas de contención laterales y frontales, posteriormente, después del modelado veremos en dónde se concentran la mayor cantidad de esfuerzos para colocar “almas acostillantes” que servirán para repartir los esfuerzos de la tolva.

Como la relación de carga aumenta con respecto a la altura de la tolva, tomaremos en cuenta el factor de densidad del material equivalente a $10,500 \text{ kg/m}^3$.

^{ix} $(p(y) = \gamma y)$, representa: γ : gravedad específica del materia o fluido y “ y ” la altura de aplicación.

Realizando el modelado en el paquete de análisis de elemento finito “solid works” 2010”, propondremos las siguientes suposiciones para el diseño:

1.- La tolva será modelada con las placas perimetrales superiores e inferiores suponiendo que no hay deformación dentro de estas placas, lo cual determinará la restricción principal (ver figuras 4.8 y 4.9).

2.- Se incluirá dentro del modelado la aplicación de la soldadura propuesta para cada uno de los elementos constructivos como lo son la unión de las tolvas y el ensamble soldado de las placas perimetrales.

3.- Las placas de las tolvas serán estrictamente de acero inoxidable AISI 316L, las soldaduras de las uniones también serán para este tipo de acero.

4.- Las placas perimetrales serán de material AISI 1035, por su resistencia y bajo costo, las mismas estarán unidas a la estructura de la tolva con soldadura para este material y se colocarán para efectos de reducir los cálculos.

5.- Se descarta la oxidación entre el material de soldadura para las placas AISI 1035 contra las de aceros inoxidable de la tolva, ya que este conjunto tendrá un recubrimiento epóxido contra materiales alcalinos lo cual garantizará la resistencia y durabilidad.

Realizando el modelado de la tolva encontramos que para poder realizar la simulación adecuada tenemos que realizar diferentes iteraciones de espesores, refuerzos y aplicaciones de presión a diferentes niveles.

4.7.1.3 Análisis de refuerzos tolva número 1 superior.

La tolva en cuestión (figura 4.8) tiene menor cantidad de refuerzos que la tolva propuesta anteriormente en capítulos anteriores, esto se deriva de la distribución de cargas realizadas en la misma tolva, lo cual al balancearlas minimiza los esfuerzos de Von Mises para ofrecer mayor seguridad en donde los esfuerzos se colocarán por debajo del límite de deformación elástico incrementando el factor de seguridad de trabajo cuyo objetivo es mantenerlo con un factor de seguridad (FS) arriba de 1.5

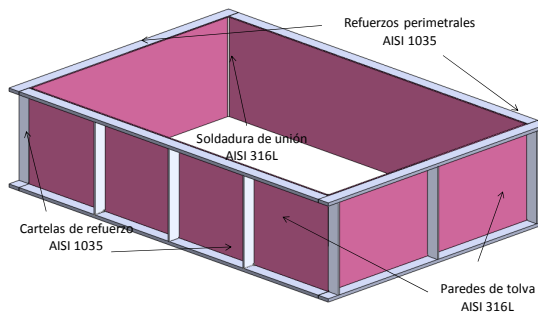


Fig. 4.8 Identificación de elementos de la tolva superior (tolva 1).

Procederemos a realizar la simulación de la pieza indicando las restricciones a las que estará sometida la pieza en cuestión por acción de la carga de llenado de material (figura 4.9).

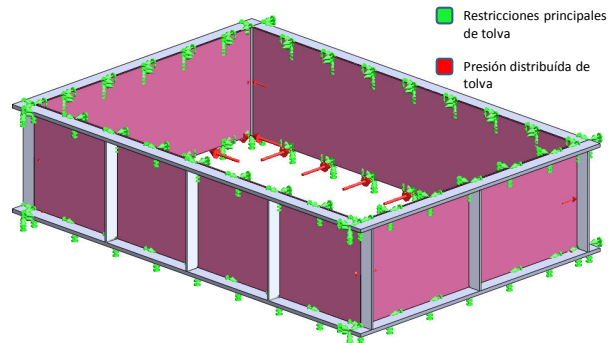


Fig. 4.9 Restricciones para análisis de tolva superior.

Realizando la aplicación de presión uniforme en el interior de la tolva y tomando en cuenta la distribución de presión como se explicó de acuerdo a la figura 4.7. En este apartado vemos claramente que el punto cero de la tolva empieza en la parte superior con un presión cero, obviamente la mayor presión se concentrará en la parte inferior del contenedor.

Llevando a cabo el mallado de la tolva con elementos sólidos y con los siguientes resultados (tabla 4.1):

<i>Tipo de malla</i>	<i>Malla sólida</i>
<i>Mallador utilizado</i>	<i>Estándar</i>
<i>Verificación jacobiana para el sólido</i>	<i>4 puntos</i>
<i>Tamaño de elementos</i>	<i>54.1081 mm</i>
<i>Tolerancia</i>	<i>2.7054 mm</i>
<i>Calidad de malla</i>	<i>Elementos cuadráticos de alto orden</i>
<i>Número total de nodos</i>	<i>49,622</i>
<i>Número total de elementos</i>	<i>24,592</i>
<i>Máxima relación de aspecto</i>	<i>36.957</i>
<i>2067843721 elementos con relación de aspecto < 3</i>	<i>8.35e+216</i>
<i>1975629068e elementos con relación de aspecto > 10</i>	<i>8.35e+216</i>
<i>% de elementos distorsionados (jacobiano)</i>	<i>0</i>

Tabla 4.1 Resultados de mallado de tolva superior.

El modelado del conjunto se muestra a continuación en la figura (4.10), podemos observar los elementos que están mallados para su análisis.

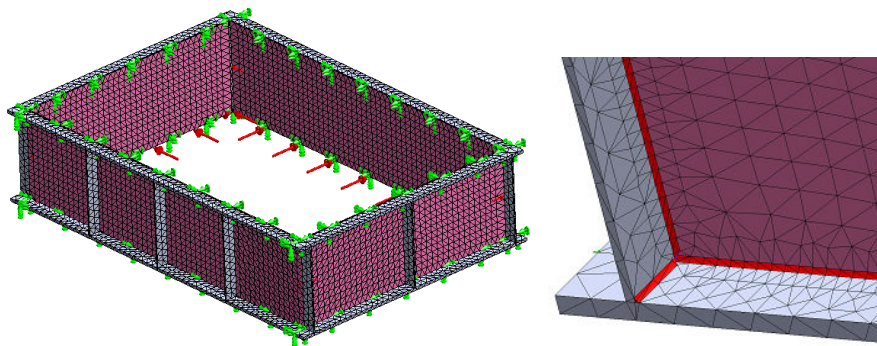


Fig. 4.10 Mallado de tolva.

Con este pre proceso de mallado, empieza el análisis por elementos finitos para poder encontrar el máximo valor de esfuerzo de Von Mises, este valor se muestra a continuación en la figura 4.11 y 4.12, aquí podremos observar que se han colocado valores arbitrarios entre algunas secciones en donde apreciamos en la tabla lateral que el valor máximo obtenido es de 296.626 Kgf/cm², valor por debajo del límite elástico del material AISI 316L y AISI 1035, en estas imágenes se muestran los valores mínimos y máximos del análisis de Von Mises, en los que los

esfuerzos en los tres planos (x, y, z) son el resultado de la interacción obtenida como se describe a continuación:

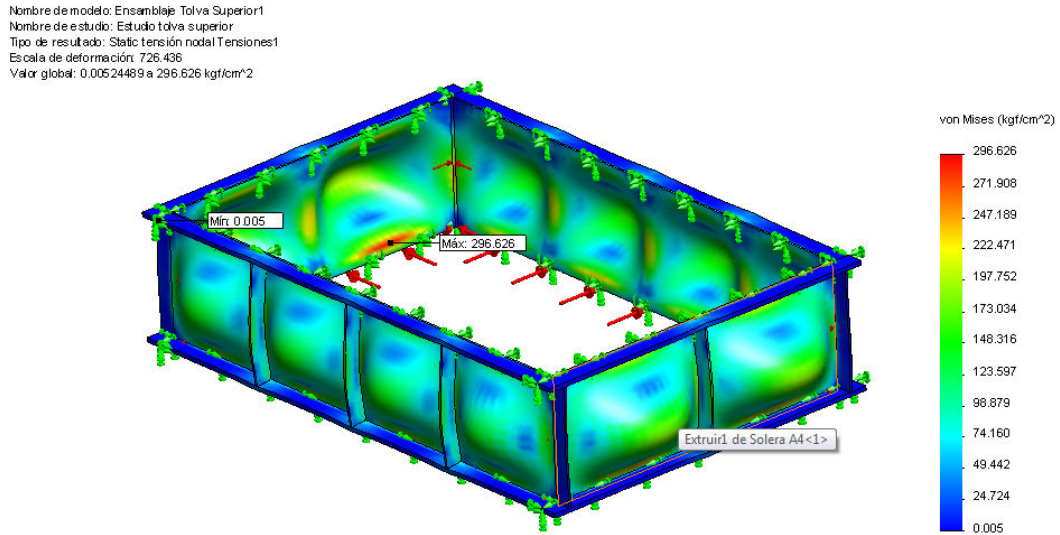


Fig. 4.11 Esfuerzos de Von Mises (Kgf/cm²).

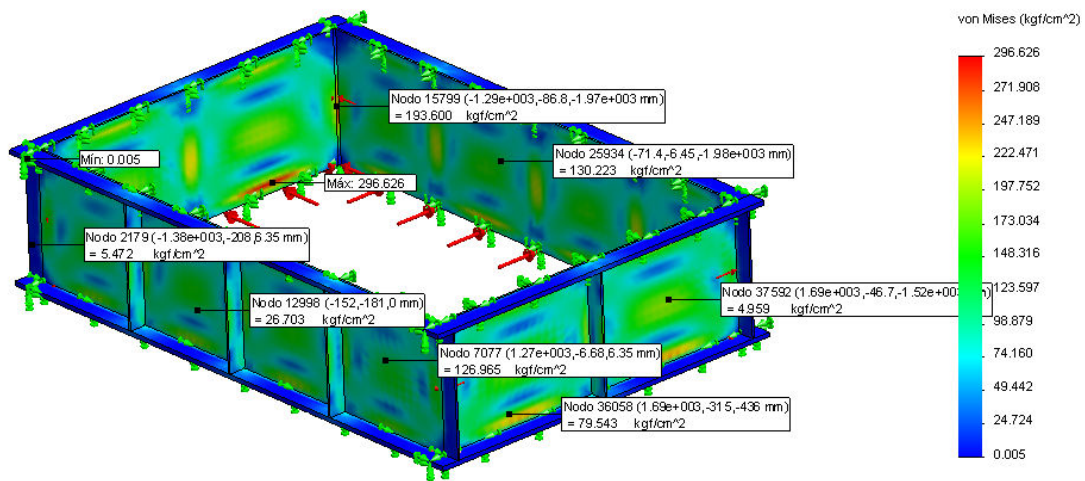


Fig. 4.12 Esfuerzos de Von Mises (identificación de algunos valores).

Muchas veces tomamos en cuenta que las deformaciones que se pueden presentar pudieran afectar al funcionamiento del equipo, en este caso, se consideran los desplazamientos a los que el equipo está sujeto, esto es importante ya que algunas veces las piezas al presentar desplazamientos excesivos (como los marcos estructurales de los parabrisas de vehículos) pueden ocasionar otras fallas que pueden verse reflejadas en fracturas mecánicas. En nuestro

equipo los desplazamientos que se presentan están en el orden máximo de 0.441 mm, y están presentes en las secciones de soporte de material que no afectan directamente a la estructura, así que un desplazamiento de hasta 1 mm es permisible para demostrar que el equipo trabaja con los parámetros adecuados sin temor a falla o deformación excesiva como lo podemos observar en la gráfica del modelado de la tolva, ésta muestra diferentes valores de desplazamiento en diferentes puntos de las placas y de la estructura en sí (figura 4.13a y 4.13b).

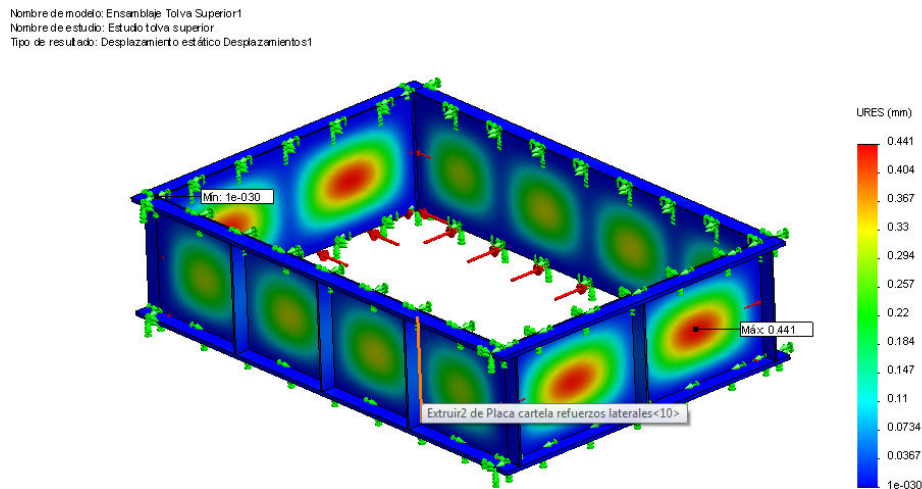


Fig. 4.13a Desplazamientos mecánicos (expresados en mm. con valores de frontera).

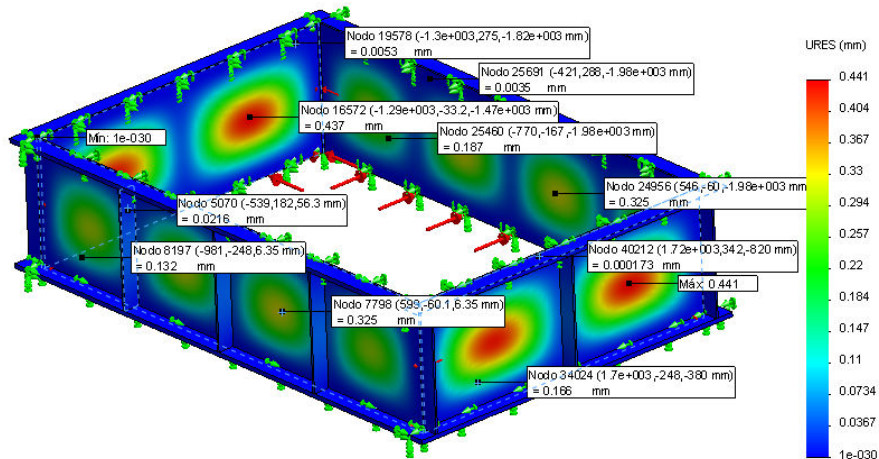


Fig. 4.13b Desplazamientos mecánicos (expresados en mm. con valores de frontera).

Para determinar la eficacia con la que trabaja la tolva, tenemos que determinar los factores mínimos de seguridad a los que estará sometida, con los que de esta manera, en la figura 6.13 observaremos algunos de los nodos más representativos de la estructura para verificar que el diseño estará sometido a un factor de seguridad aceptable, y como los valores obtenidos están arriba de 5.4 (ver figura 4.14). Para nuestro estudio, usaremos estos valores de FS como

aceptables ya que consideraremos que la tolva superior está sometida a cargas cíclicas por acción del cargador mecánico (payloader) que se usa para su alistamiento.

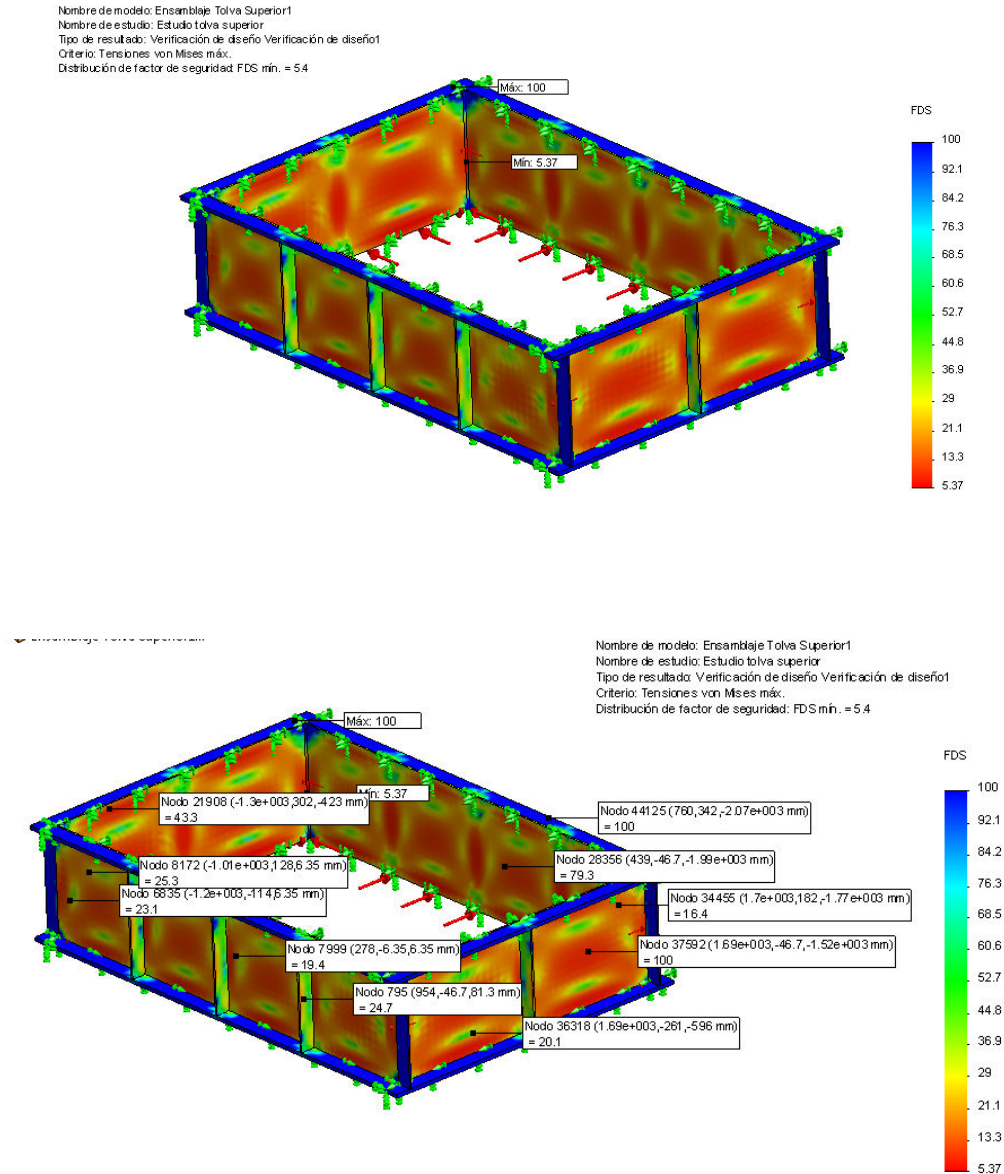


Fig. 4.14 Distribución de factor de seguridad en la tolva superior y nodos representativos

4.7.1.4 Análisis general de la tolva número 2 inferior.

Como se ha explicado anteriormente, la tolva almacena material y este ejerce una presión hidrostática que varía linealmente con la profundidad como ya hemos visto en la tolva anterior; procederemos a aplicar el mismo procedimiento de modelado para su análisis. La tolva en este

caso estará apoyada por “largeros^x comerciales” que distribuirán la carga que debe sostener junto con el peso del motor que moverá el tornillo sinfín. Dicha tolva tiene una “costilla interna”, la cual evitará el “atascamiento” del material dentro del sistema alimentador sinfín. De esta manera, el material es dosificado y evitará que el motor se sobrecaliente por el alto par torsional que debe mandar a la flecha del transportador helicoidal.

Como la relación de carga aumenta con respecto a la altura de la tolva, en este caso debemos tener en cuenta la altura original más la altura final de la tolva número dos, pues debido a que la carga es mandada directamente a la parte más baja de la misma, la presión del material es uniformemente distribuida entre estas dos tolvas pero naturalmente mayor en el fondo de la tolva inferior.

Nuevamente, realizando el modelado en el paquete de análisis de elemento finito “solid works” 2010”, propondremos las siguientes suposiciones para el diseño:

1.- La tolva será modelada con los largueros perimetrales y de soportes superiores e inferiores y suponiendo que no hay deformación dentro de estos perfiles, lo cual determinará la restricción principal (ver figura 6.14).

2.- Se incluirá dentro del modelado la aplicación de la soldadura propuesta para cada uno de los elementos constructivos como lo son la unión de las tolvas y el ensamble soldado de las placas perimetrales.

3.- Las placas de las tolvas serán estrictamente de acero inoxidable AISI 316L, las soldaduras de las uniones también serán para este tipo de acero.

4.- Los largueros perimetrales serán de material AISI 1035, por su resistencia y bajo costo, las mismas estarán unidas a la estructura de la tolva con soldadura para este material y se colocarán para efectos de reducir los cálculos.

^x Largueros: Nombre común para vigas estructurales

5.- Se descarta la oxidación entre el material de soldadura para las placas AISI 1035 contra las de aceros inoxidable de la tolva, ya que este conjunto tendrá un recubrimiento epóxico contra materiales alcalinos lo cual garantizará la resistencia y durabilidad.

Con el propósito de minimizar la profundidad en la validación del equipo, presentaremos los resultados generales del modelado realizado en el paquete “solid works” 2010”, obteniendo como resultado el siguiente modelado de esfuerzos en la tolva inferior. La figura 4.15 ilustra los detalles principales de la tolva inferior y los soportes utilizados.

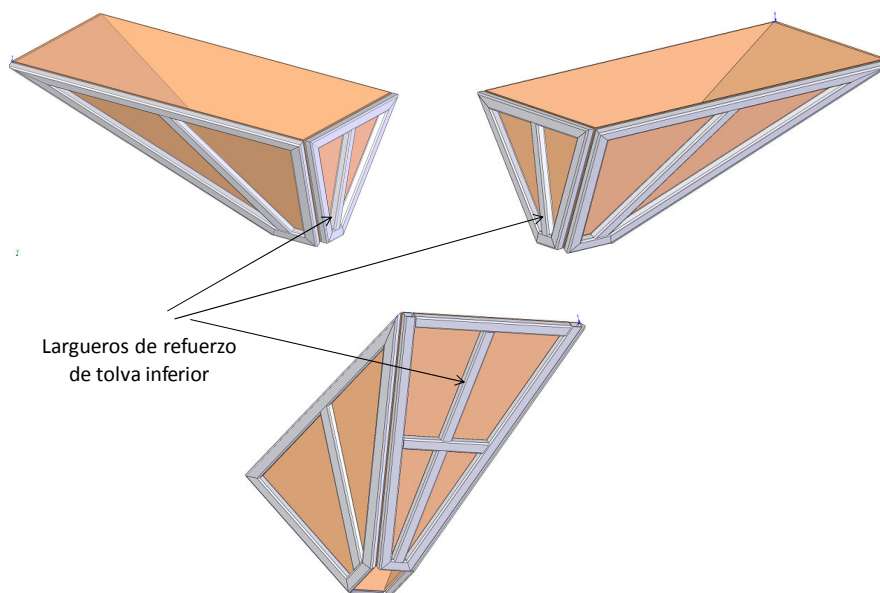


Fig. 4.15 Tolva inferior (Detalles de ensamble).

Procederemos a realizar el mallado de la unidad especificando primeramente las secciones que limitarán la deformación, dicho de otra manera las restricciones fijas de la pieza como se muestra en la figura 4.16.

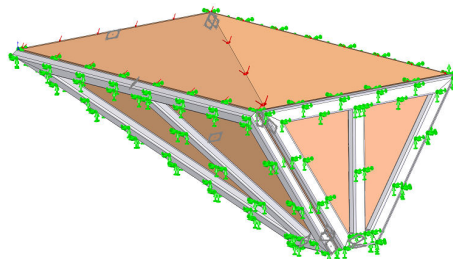


Fig. 4.16 Restricciones de tolva para modelado.

Como podemos notar, una vez definidas las restricciones de la unidad se procede a realizar el mallado; los datos principales se muestran en la tabla 4.2 y el mallado en la figura 4.17:

<i>Tipo de malla</i>	<i>Malla sólida</i>
<i>Mallador utilizado</i>	<i>Estándar</i>
<i>Verificación jacobiana para el sólido</i>	<i>4 puntos</i>
<i>Tamaño de elementos</i>	<i>53.432 mm</i>
<i>Tolerancia</i>	<i>2.6716 mm</i>
<i>Calidad de malla</i>	<i>Elementos cuadráticos de alto orden</i>
<i>Número total de nodos</i>	<i>127,099</i>
<i>Número total de elementos</i>	<i>67,345</i>
<i>Máxima relación de aspecto</i>	<i>36.957</i>
<i>2067843721 elementos con relación de aspecto < 3</i>	<i>8.35e+216</i>
<i>1975629068e elementos con relación de aspecto > 10</i>	<i>8.35e+216</i>
<i>% de elementos distorsionados (jacobiano)</i>	<i>0</i>

Tabla 4.2 Resultados de mallado de tolva superior.

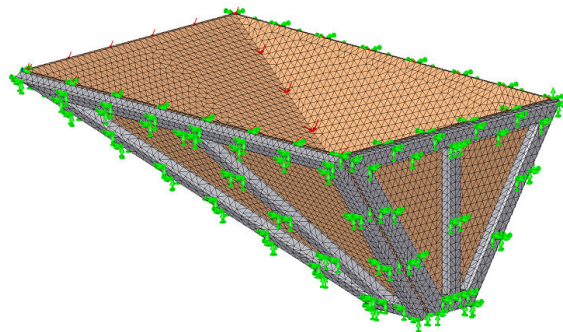


Fig. 4.17 Restricciones de tolva y mallado.

“Solid works 2010” muestra en el entorno del modelado los resultados visuales de las deformaciones, esfuerzos de Von Misses, deformaciones unitarias, desplazamientos y la percepción del diseño (factor de seguridad).

Los esfuerzos de Von Misses nos muestran los valores en los que el material empezará a deformarse, el cual representa la resistencia del material al estado de las cargas y es un criterio estándar de diseño. El esfuerzo de Von Misses (o de máxima energía de distorsión) es calculado

en cada elemento por el método del elemento finito, si este esfuerzo sobrepasa el máximo permisible (límite elástico) para el material, entonces se determinará una alta probabilidad de falla. En nuestra tolva podemos notar los valores obtenidos del modelado de la tolva sujeta a carga como se ha especificado en el volumen de material a contener anteriormente, aquí obtenemos un valor de esfuerzo de Von Mises igual a 1156.020 kg/cm² (figura 4.18a y 4.18b) el cual está muy por debajo del esfuerzo obtenido en el límite elástico (2,882.585 kg/cm²) . El procedimiento de iteración del software nos permite encontrar el esfuerzo óptimo al que la tolva deberá trabajar.

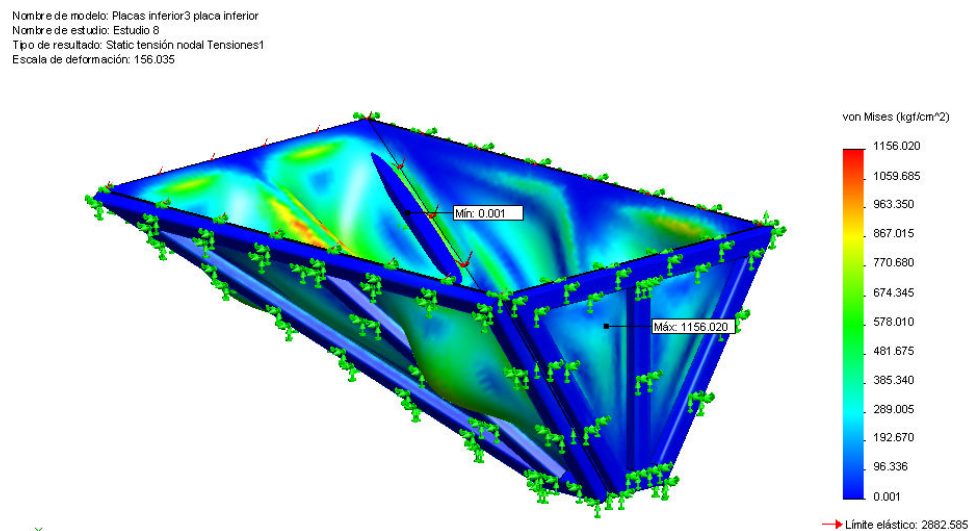


Fig. 4.18a Esfuerzos de Von Mises en la tolva superior.

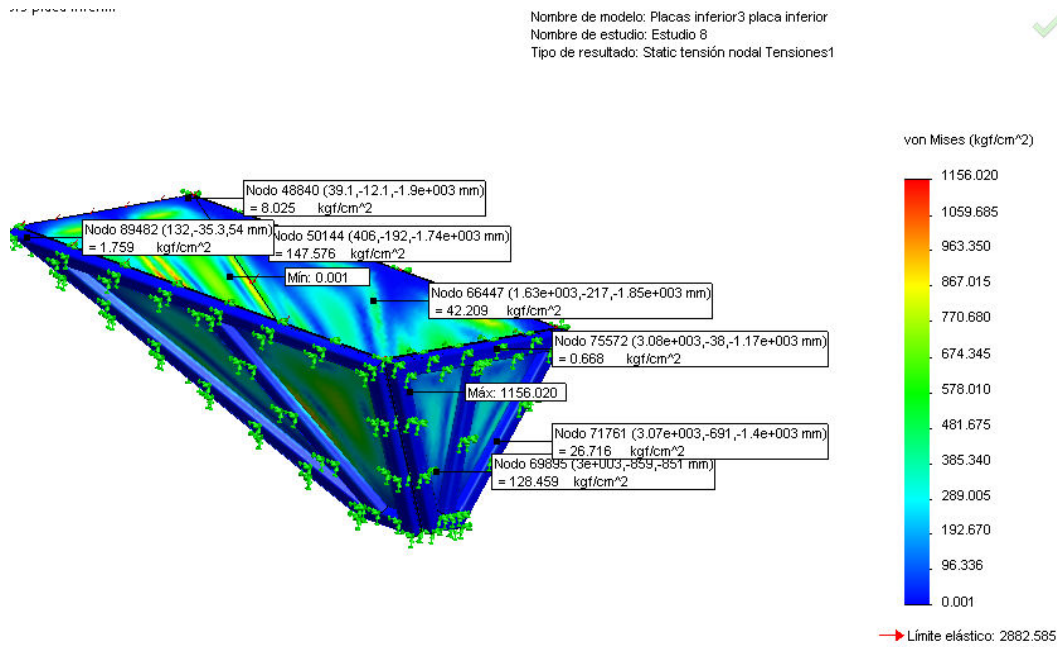


Fig. 4.18b Esfuerzos de Von Misses en la tolva superior.

El software de modelado nos muestra también los desplazamientos del equipo debido a las cargas soportadas, nuestra evaluación nos indica los valores entre los cuales se comporta nuestra tolva expresados en milímetros (mm), esto quiere decir que el conjunto de fuerzas que interactúan desplaza cada sección del elemento de manera diferente, alcanzando valores hasta de 2.22 mm que para efectos de modelado y funcionalidad no son representativas. Con estos valores, podemos decidir si colocamos un refuerzo intermedio para evitar cargas cíclicas de fatiga o dejar el modelo como se muestra ya que los valores son bastante pequeños en un equipo de estas dimensiones, así que optaremos por no colocar el refuerzo. La figura 4.19a y 4.19 b ilustran los resultados claramente.

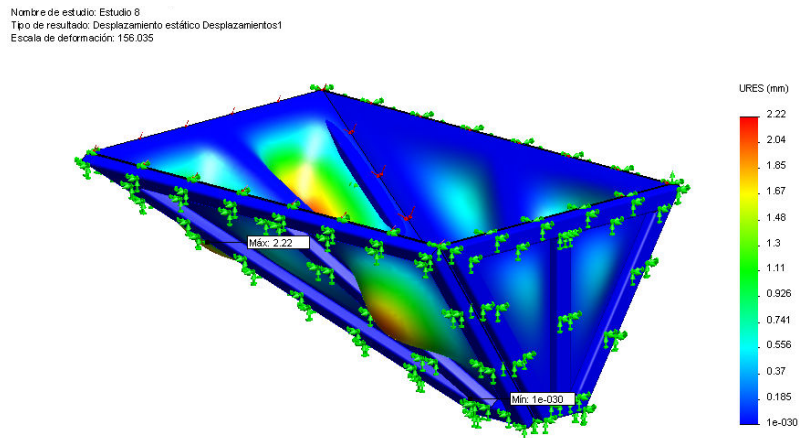


Fig. 4.19a Desplazamientos por efecto de las cargas en milímetros.

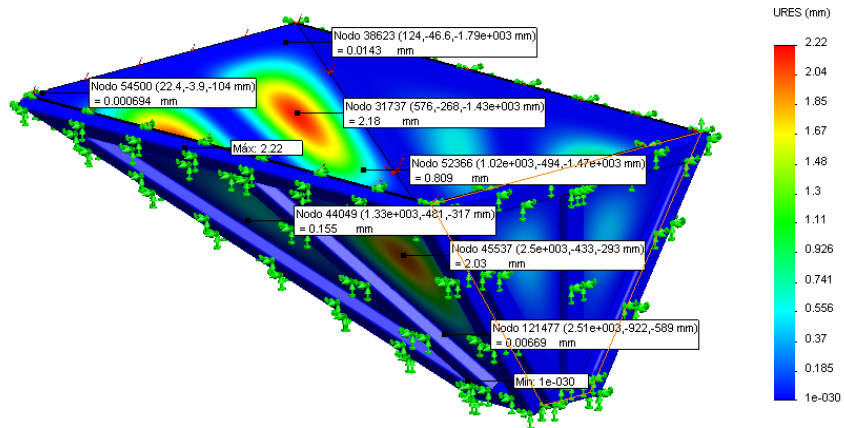


Fig. 4.19b Desplazamientos por efecto de las cargas en milímetros (continuación).

En términos muy generales, el hecho de dividir el esfuerzo máximo obtenido en el modelado contra el valor del esfuerzo obtenido en el límite elástico nos daría el factor de seguridad que la pieza tiene (figura 4.20a y 4.20b).

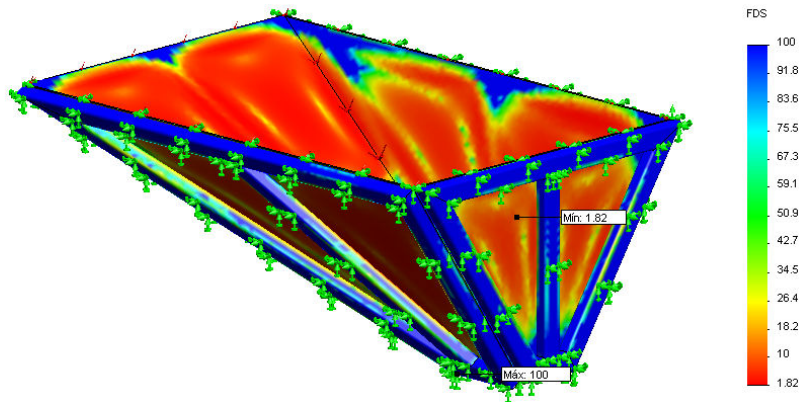


Fig. 4.20a Distribución de factor de seguridad en la tolva inferior.

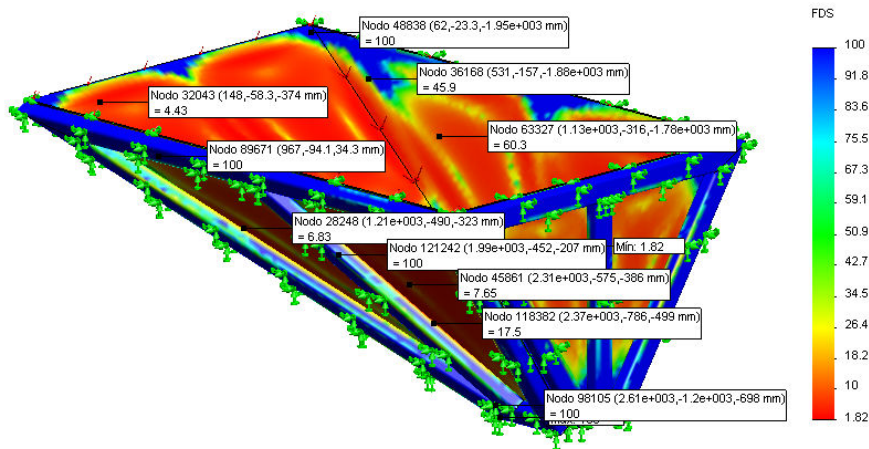


Fig. 4.20b Distribución de factor de seguridad en la tolva inferior (continuación).

Con los resultados anteriores podemos obtener las siguientes conclusiones:

- 1.-La tolva no rebasa los límites de esfuerzo encontrados, los cuales demuestran que el equipo es seguro.
- 2.-Los desplazamientos son mínimos, justificando la construcción de esta pieza y despreciando los esfuerzos cíclicos de fatiga.
- 3.- La unidad tiene un factor de seguridad de 1.8 acorde a las recomendaciones expuestas anteriormente.
- 4.- No podemos seleccionar un factor de seguridad inferior al obtenido debido a que los resultados arrojarían usar materiales con espesores no tan comerciales y de fabricación especial encareciendo el producto final.

Como hemos notado, en base a esta sencilla explicación continuaremos justificando los resultados de cada una de las piezas de manera numérica para efectos de optimización ya que el mismo procedimiento aplica para las piezas de ensamble de la unidad cargadora.

4.7.1.5 Análisis del soporte de carga de tolvas.

Como se ha explicado anteriormente, la tolva almacena material y esta ejerce una presión hidrostática que varía linealmente con la profundidad como ya se ha visto, esta tolva repartirá su peso entre cuatro soportes colocados en las zonas perimetrales para equilibrar cargas y distribución de pesos. En uno de los extremos de la tolva se colocará una “celda de carga que evaluará el peso que soporta la tolva, esta celda indicará cuando el material a cargar esté listo y para controlar las “cargas dentro del horno de fusión”. A continuación, procederemos a realizar el modelado tomando en consideración las siguientes asunciones para el diseño:

1.- El soporte estará soportando el peso total de la tolva (material más estructuras), como este sistema es uno de los más delicados, se realizará el modelado tomando en consideración 80 toneladas totales (previamente definido), dividido entre cuatro soportes nos dará un total de 20 toneladas por soporte.

2.- Se incluirá dentro del modelado la aplicación de la soldadura propuesta para cada uno de los elementos constructivos en las uniones de la pieza.

3.- Las placas para el armado serán de acero AISI 1035, con pintura epóxica, la soldadura será de del mismo tipo. La figura 6.20 ilustra los detalles principales del soporte.

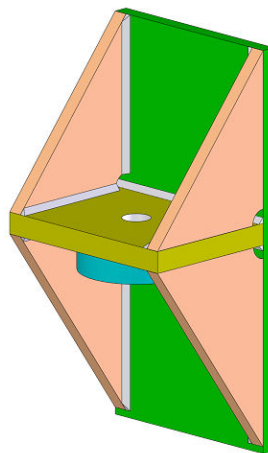


Fig. 4.21 Soporte de tolva

Procederemos a realizar las condiciones de frontera para el modelado primeramente estableciendo las restricciones de la pieza (sección fija, ver figura 4.22).

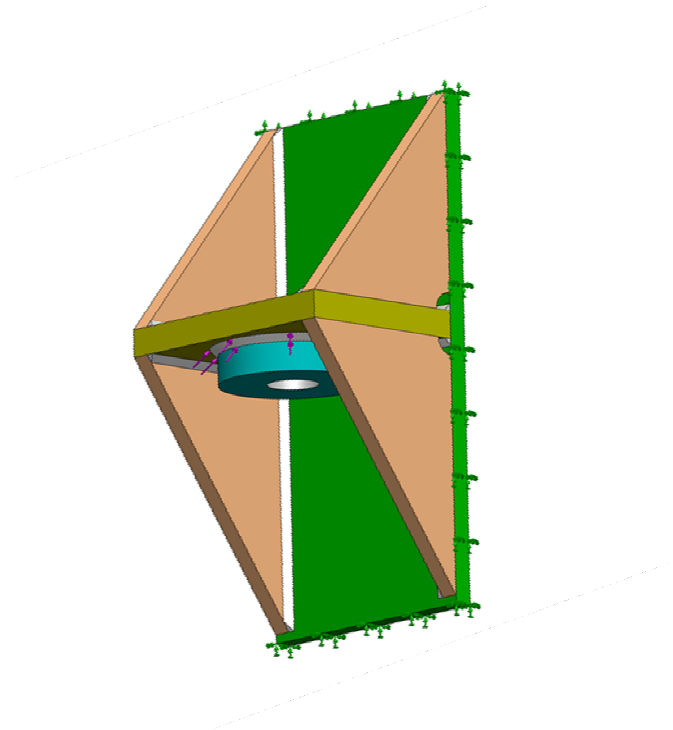


Fig. 4.22 Restricciones para el modelado del soporte.

A continuación mostraremos el mallado realizado para esta pieza en la figura 4.23 junto con los datos principales para su simulación (tabla 4.3).

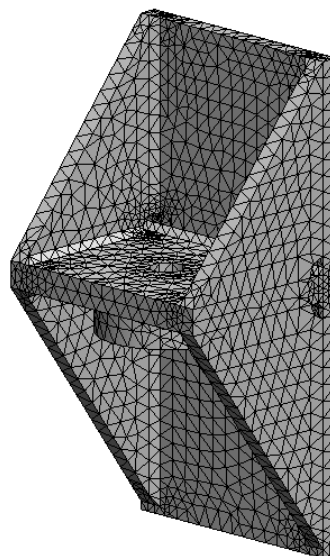


Fig. 4.23 Mallado de pieza.

<i>Tipo de malla</i>	<i>Malla sólida</i>
<i>Mallador utilizado</i>	<i>Estándar</i>
<i>Verificación jacobiana para el sólido</i>	<i>4 puntos</i>
<i>Tamaño de elementos</i>	<i>24.722 mm</i>
<i>Tolerancia</i>	<i>1.2361 mm</i>
<i>Calidad de malla</i>	<i>Elementos cuadráticos de alto orden</i>
<i>Número total de nodos</i>	<i>26,123</i>
<i>Número total de elementos</i>	<i>15,636</i>

Tabla 4.3 Mallado de soporte y datos.

Una vez modelada la pieza, obtenemos los resultados que muestran los valores obtenidos bajo las cargas de trabajo y las restricciones asignadas. En la figura 4.24 observamos los esfuerzos de Von Mises en los cuales podemos observar un valor máximo de 606 kg/cm², este valor no rebasa el máximo que soportaría la pieza al momento de empezar a fallar. En la figura 4.24 se muestra la distribución de esfuerzos sin alcanzar el límite máximo de la pieza que determinará con respecto al factor de seguridad. Es importante mencionar que la deformación mostrada es un representación visual que ha sido magnificada para su entendimiento (no muestra la deformación real) y consideramos conveniente colocarla de esta manera como ejemplo.

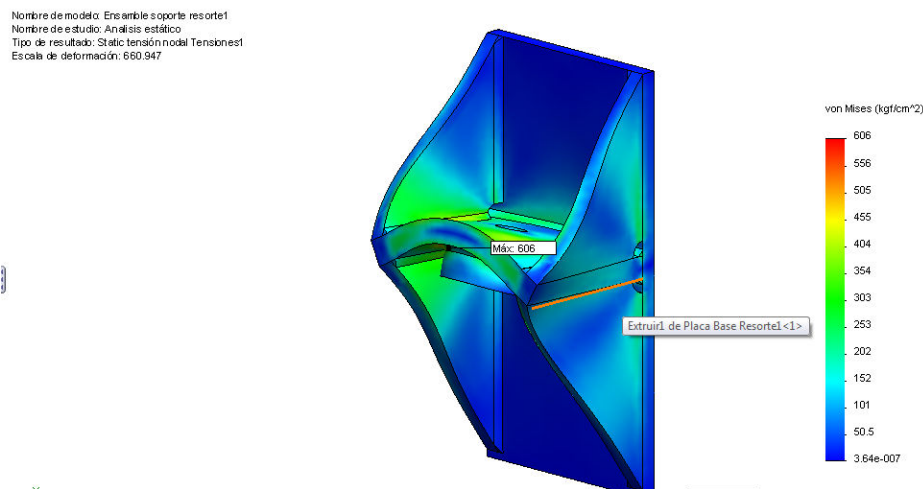


Fig. 4.24 Distribución de esfuerzos de Von Mises dentro del soporte.

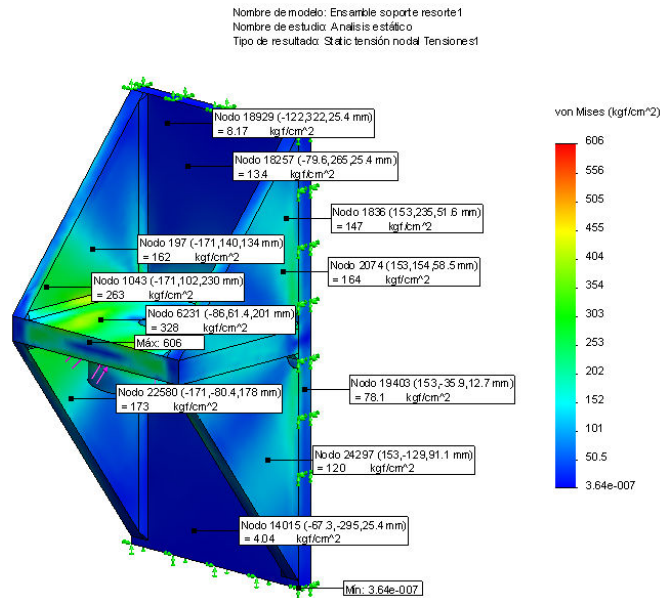


Fig. 4.24 Distribución de esfuerzos de Von Mises dentro del soporte (continuación).

El software de modelado nos muestra también los desplazamientos del equipo debido a las cargas soportadas, nuestra evaluación nos muestra los valores entre los cuales se comporta nuestro soporte expresados en milímetros (mm), esto quiere decir que el conjunto de fuerzas que interactúan desplaza cada sección del elemento de manera diferente, alcanzando valores hasta de 0.106 mm los cuales son despreciables como se muestra en la figura 4.25:

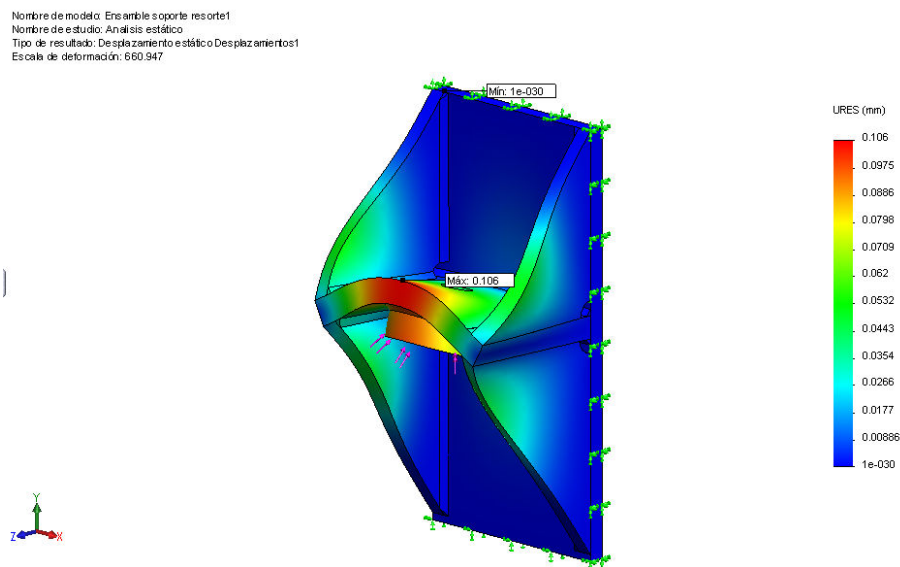


Fig. 4.25 Distribución de desplazamientos del soporte en milímetros.

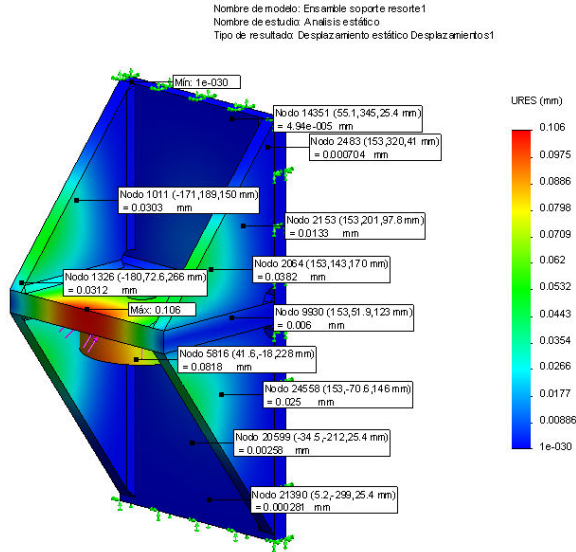


Fig. 4.25 Distribución de desplazamientos del soporte en milímetros (continuación).

Los estándares de factores de seguridad en piezas en las cuales se debe de garantizar una seguridad alta para evitar una catástrofe que provoque la pérdida de vidas o fallas con resultados muy severos enuncia tener un Factor de Seguridad entre 3 y 4. (Ver sección de factor de seguridad sección 4.5 y 4.6). Dividiendo el esfuerzo máximo obtenido en el modelado contra el valor del esfuerzo obtenido en el límite elástico obtendremos el factor de seguridad del soporte (figura 4.26) que en nuestro caso arroja un valor de 3.9 que significa la cantidad de veces más resistencia tomando en consideración el valor del esfuerzo de Von Mises.

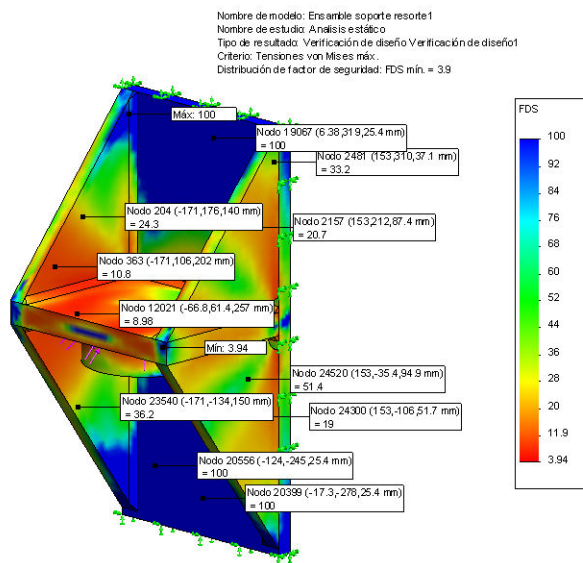


Fig. 4.26 Distribución de factor de seguridad en el soporte.

4.7.1.6 Análisis general de la tapa de carga sensor.

Esta tapa funciona de la misma manera que el soporte de carga analizado anteriormente, resiste el peso de 20 toneladas y los distribuye a la columna de carga que trasmite su peso al marco inferior. Consideraremos las siguientes asunciones para el diseño y modelado:

1.- La tapa estará soportando el peso total de la tolva uniformemente distribuido de 20 toneladas.

2.- El material a utilizar será de acero AISI 1035, recubierto con pintura epóxica, la soldadura será del mismo tipo. La figura 4.27 ilustra los detalles principales de la tapa.

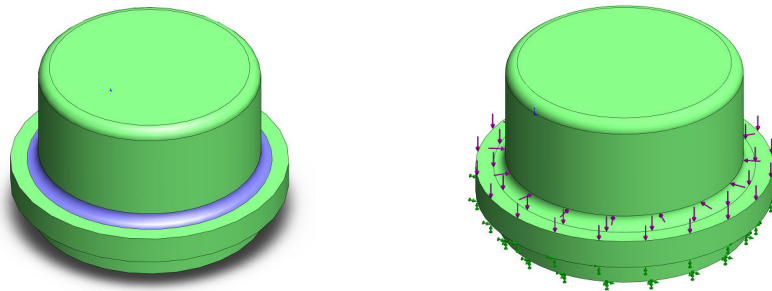


Fig. 4.27 Tapa mostrando la distribución de cargas y restricciones para el modelado.

Una vez definidas las restricciones para empezar a trabajar, realizaremos el modelado de la pieza empezando con el mallado de la misma como se muestra en la figura 4.28, los datos de modelado están a la vista en la tabla 4.4 en donde podemos notar la cantidad de nodos para el modelo y los datos representativos para el mallado de la pieza.

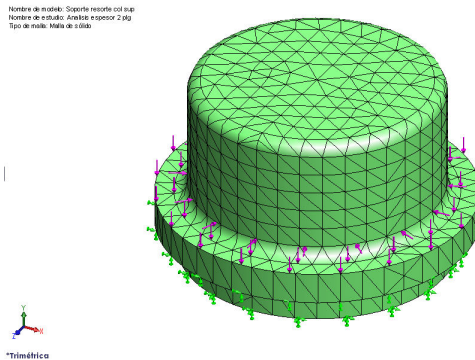


Fig. 4.28 Tapa mostrando el mallado de la pieza

Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado	Malla estándar
Verificación jacobiana para el sólido	4 puntos
Tamaño de elementos	17.4291 mm
Tolerancia	0.871455 mm
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden
Número total de nodos	11568
Número total de elementos	7672

Tabla. 4.4 Mallado de pieza y datos de mallado.

Al modelar la pieza, “solid works 2010” nos permite visualizar los resultados de una manera amigable bajo las cargas de trabajo y las restricciones asignadas. En la figura 4.29 observamos los esfuerzos de Von Mises con un valor máximo 276 kg/cm², este valor no rebasa el máximo que soportaría la pieza al momento de empezar a fallar, de igual forma en la misma figura se muestra la distribución de esfuerzos sin alcanzar el límite máximo de la pieza antes de poder deformarse. El valor máximo que podrá resistir la pieza es de 2880 kg/cm². Esto significa que la pieza soportará más de 10 veces la carga diseñada (ver figura 6.30 en donde se describe el factor de seguridad de la pieza). En este caso por conveniencia en el diseño se toma en cuenta que un valor en el factor de seguridad de más de 10 no afecta en absoluto la funcionalidad ni mucho menos la estética de la unidad por lo tanto la dejaremos así ya que no hay una razón económica de peso en este momento.

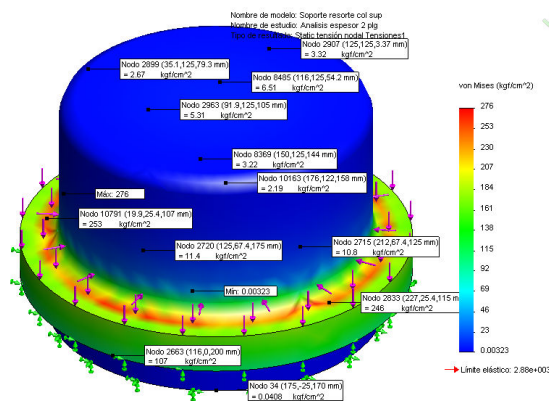


Fig. 4.29 Esfuerzos de Von Mises en la pieza.

Los desplazamientos equivalentes a la deformación obtenida no superan al 0.000191 cm. por lo cual la deformación es despreciable como se puede observar en la figura 4.30.

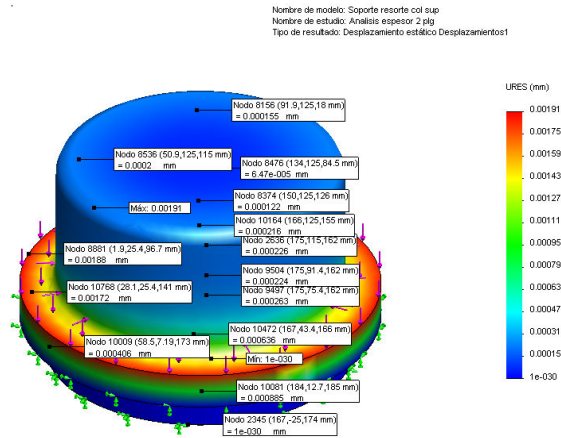


Fig. 4.30 Deformación de la pieza modelada.

Dentro del modelado obtendremos la distribución del factor de seguridad de la pieza como es mostrado en la figura 4.31, este resultado es bastante útil cuando queremos determinar que tan segura es la pieza al modelar.

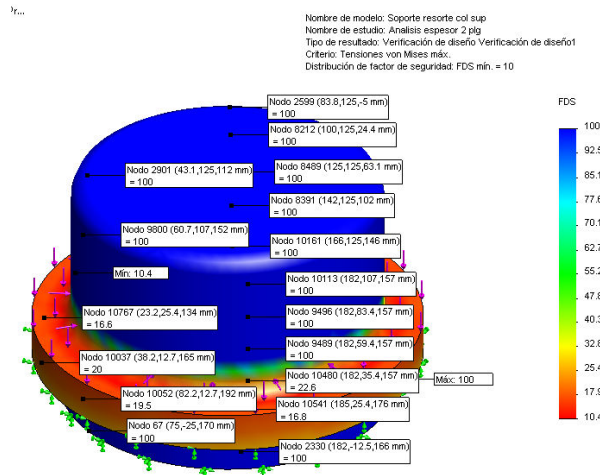


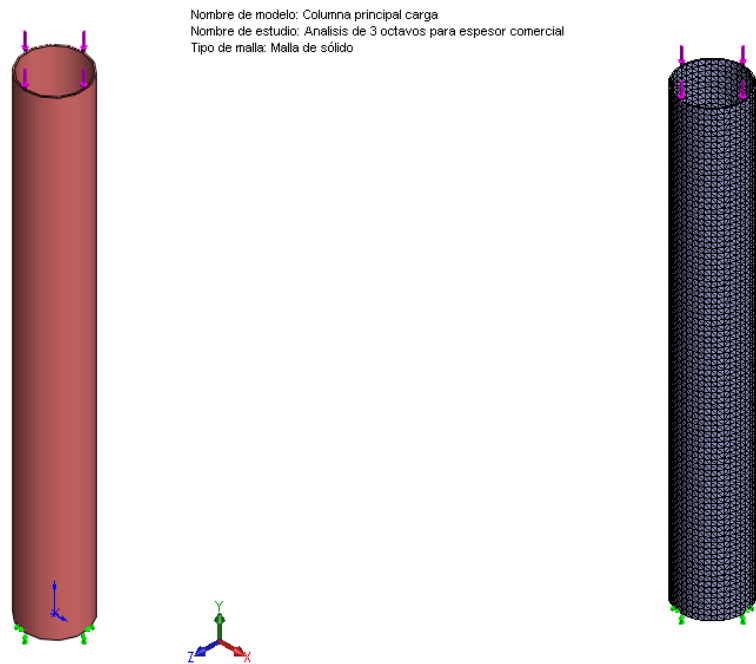
Fig. 4.31 Distribución del factor de seguridad

4.7.1.7 Análisis general de las columnas de carga.

Las columnas de carga tienen el objetivo de soportar el peso total de la tolva y distribuirla a la viga inferior. La tolva se considera que tiene un peso total de 80 toneladas, de

las cuales se soportan entre cuatro columnas, cada columna soporta 20 toneladas de carga. Tomando estos parámetros, recomendaremos un material de acero AISI 1035 comercial, con acabado de pintura epóxica para evitar el ataque de la corrosión por el material a alimentar.

La figura 4.32 muestra la columna hueca interactuando con la aplicación de carga para proceder a su modelado. En la parte superior se aplica la carga a soportar y en la sección inferior la zona fija que está soportando el peso total. Los datos de mallado se anexan más abajo en la misma figura.



<i>Tipo de malla</i>	<i>Malla sólida</i>
<i>Mallador utilizado</i>	<i>Malla estándar</i>
<i>Verificación jacobiana para el sólido</i>	<i>4 puntos</i>
<i>Tamaño de elementos</i>	<i>17.468 mm</i>
<i>Tolerancia</i>	<i>0.87338 mm</i>
<i>Calidad de malla</i>	<i>Elementos cuadráticos de alto orden</i>
<i>Número total de nodos</i>	<i>60978</i>
<i>Número total de elementos</i>	<i>30455</i>

Fig. 4.32 Mallado de columna.

El ambiente amigable de “solid works 2010” visualiza los resultados de una manera inmediata mostrando el desempeño de la pieza bajo las cargas de trabajo y sus restricciones. En la figura 4.33 podemos observar que el esfuerzo de Von Mises máximo presentado en la pieza es de 669 kg/cm², valor que no es rebasado contra el valor máximo que soportaría la pieza al momento de empezar a fallar. Notamos que la pieza empezará a deformarse al presentarse un esfuerzo de 2880 kg/cm², esto significa que la pieza soportará más de 4.3 veces la carga diseñada (ver figura 4.35 en donde es descrita la distribución de factor de seguridad). Obviamente este factor es suficientemente aceptable para nuestro estudio.

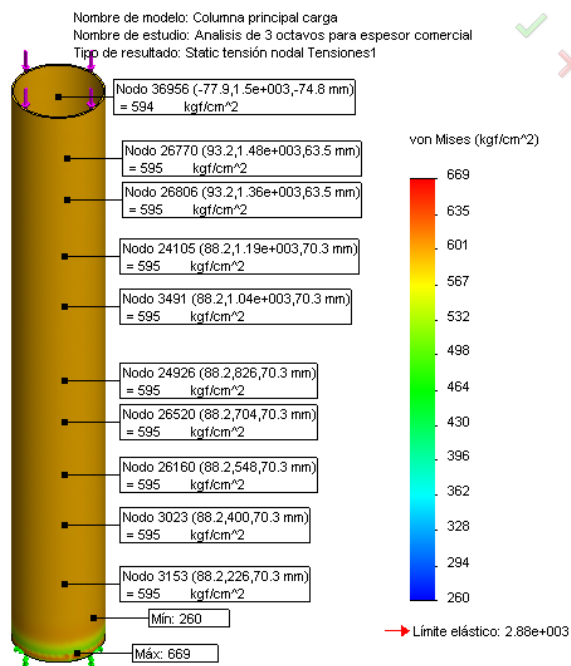


Fig. 4.33 Esfuerzos de Von Mises en la columna de carga.

Otro factor que debemos de tomar en cuenta es la deformación en la columna, en esta parte al modelar la pieza, observamos que el valor máximo obtenido por desplazamiento es de 0.0045 cm (un valor muy pequeño). Este valor prácticamente no produce ninguna preocupación por concepto de deformación excesiva o fatiga, por lo tanto los resultados son aceptables (figura 4.34).

Como comentamos anteriormente, la columna tiene una resistencia 4.3 veces más alta comparada contra el esfuerzo máximo de Von Mises obtenido. Tomando en consideración que

este factor es suficiente para soportar la pieza tomaremos la decisión de utilizar esta columna con las características obtenidas principalmente con dos criterios: estética y seguridad.

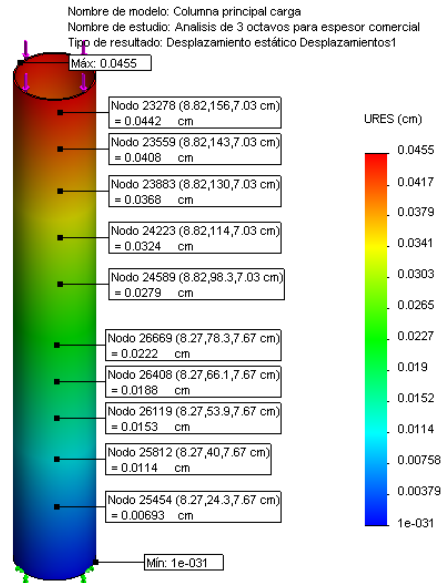


Fig. 4.34 Distribución de los desplazamientos en la columna.

Como se explicó dentro de los esfuerzos de Von Misses podemos ver que el esfuerzo no rebasado implica 4.3 veces más resistencia, dicho de otra manera el factor de seguridad es de 4.3 (figura 4.35).

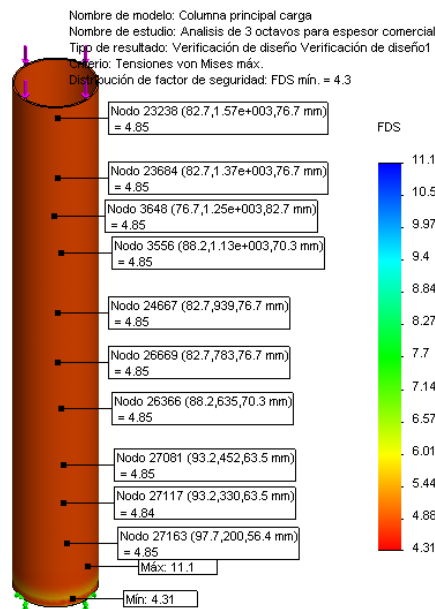


Fig. 4.35 Distribución del factor de seguridad en la columna.

4.7.1.8 Análisis general de las columnas con el marco inferior y las chumaceras del equipo.

Como fue descrito anteriormente, las columnas de carga tienen el objetivo de soportar el peso total de la tolva y distribuirla al marco inferior de carga, de la misma manera, cada columna soporta 20 toneladas las cuales reparten la carga de forma distribuida. Para realizar el modelado del marco inferior requerimos modelar en conjunto las columnas de carga, el marco inferior y los apoyos de carga de todo el peso distribuido que se va directamente a las chumaceras de carga inferior.

Se toma la decisión de modelar el conjunto de los elementos para facilitar el modelado y de manera visual los esfuerzos distribuidos en los mismos elementos ya que debido a la gran cantidad de nodos presentes en el análisis estos solamente provocarían que el equipo en el cual se modelaría el conjunto de la pieza pueda fallar por falta de memoria o capacidad de procesamiento. Como referencia de partida para el modelado, describiremos los materiales que se usarán para el marco inferior y las chumaceras de carga y procederemos a modelar la unidad.

Las columnas de carga fueron descritas en la sección anterior, en este caso para el marco inferior de carga el material propuesto será de acero AISI 1035, con respecto a las chumaceras éstas serán fundidas con acero al carbono, debido a las dimensiones de la misma.

La figura 4.36 muestra la estructura interactuando con la aplicación de las cargas para proceder a su modelado. En la parte superior (columnas de carga) aplicamos la carga a soportar (20,000 kg, afecto de modelar el trabajo de la unidad en condición extrema). El marco inferior reparte todo el peso de la tolva hacia las chumaceras de carga, por el momento solamente se analizará el conjunto del cuerpo principal, ya que el resto de las chumaceras se analizarán más adelante en conjunto con el pasador. Los datos de mallado se anexan más abajo en la figura 4.37 así como los datos para modelado en la tabla 4.33.

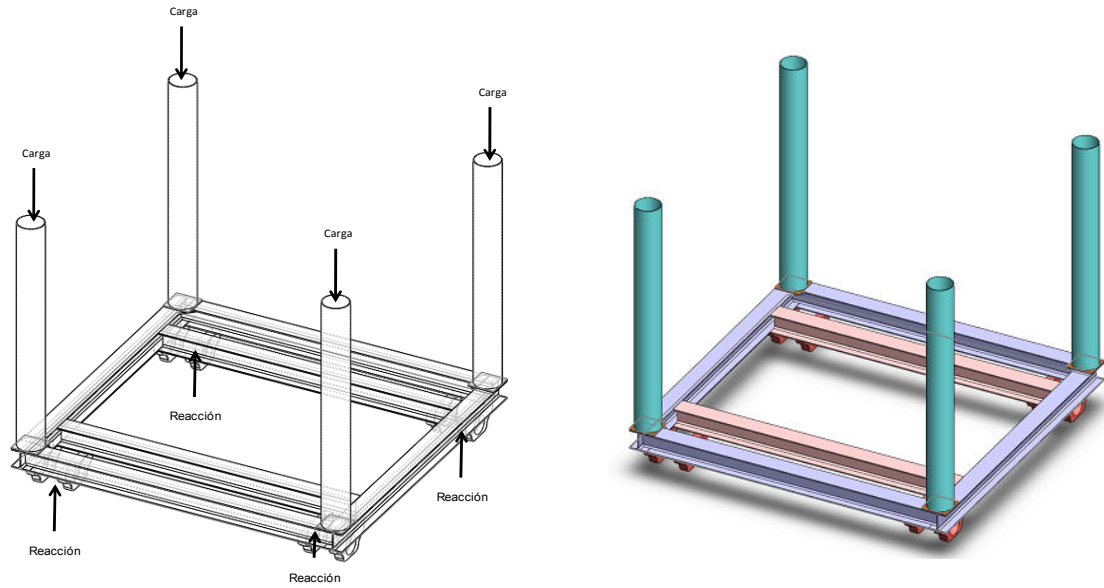
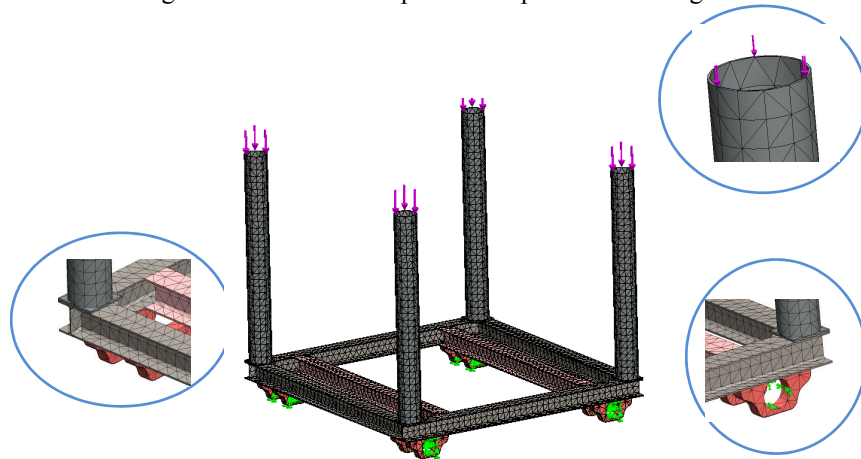


Fig. 4.36 Iteración de la pieza con aplicación de cargas.



<i>Tipo de malla</i>	<i>Malla sólida</i>
<i>Mallador utilizado</i>	<i>Malla estándar</i>
<i>Verificación jacobiana para el sólido</i>	<i>4 puntos</i>
<i>Tamaño de elementos</i>	<i>66.1744 mm</i>
<i>Tolerancia</i>	<i>3.30872 mm</i>
<i>Calidad de malla</i>	<i>Elementos cuadráticos de alto orden</i>
<i>Número total de nodos</i>	<i>57674</i>
<i>Número total de elementos</i>	<i>29368</i>

Fig. 4.37 Mallado de la pieza en conjunto con la aplicación de las cargas.

Dentro de “solid works 2010” visualizamos los resultados de una manera gráfica y precisa en donde notaremos que el esfuerzo de Von Misses máximo presentado en la pieza es de $1,473.2 \text{ kg/cm}^2$, valor que no es rebasado contra el valor máximo que soportaría la pieza al momento de empezar a fallar (tomando en cuenta los factores de seguridad de los elementos de conjunto, figura 4.38).

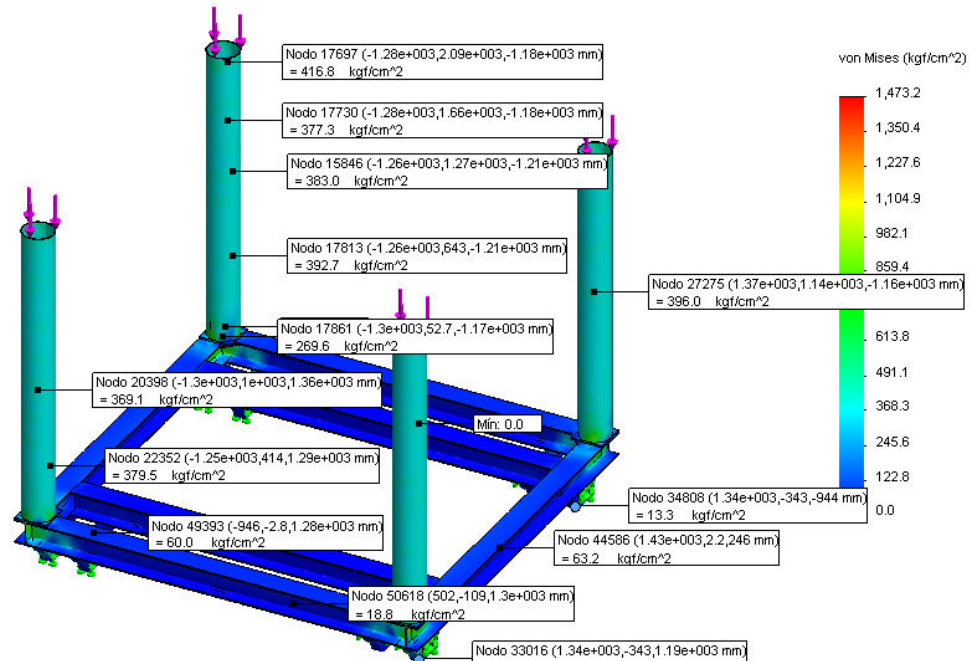


Fig. 4.38 Esfuerzo de Von Misses en el conjunto

Los desplazamientos encontrados son mínimos, en la sección más estricta se considera solamente un desplazamiento de 1.432 mm lo cual es insignificante para los efectos de deformación excesiva en toda la estructura. De antemano en la figura 4.39 se muestra la distribución de estos valores con los desplazamiento más relevantes.

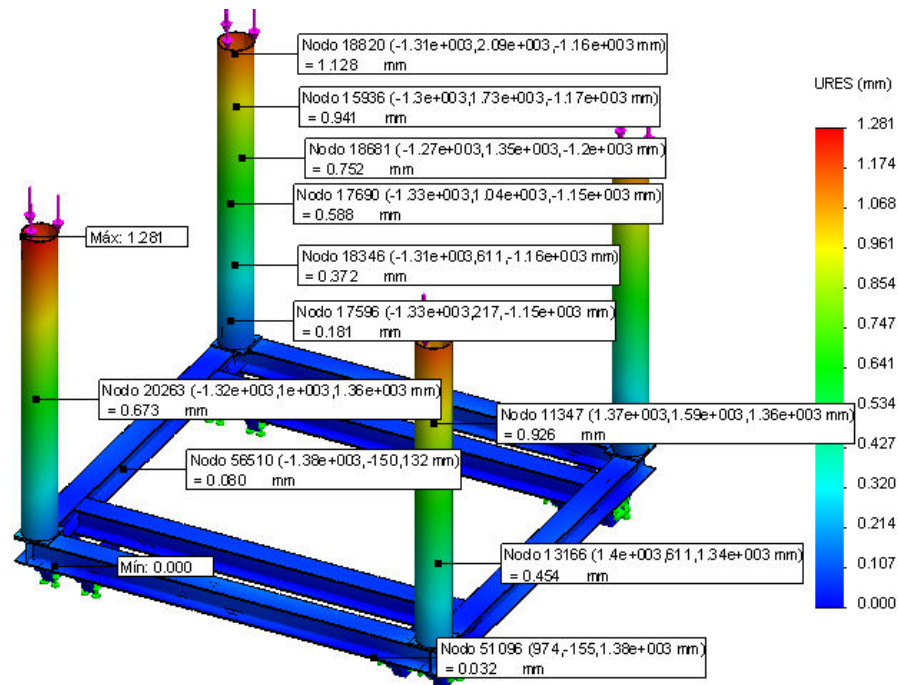


Fig. 4.39 Desplazamiento en la pieza (mm)

La unidad comenzará a deformarse al presentarse un esfuerzo de $1,473.2 \text{ kg/cm}^2$, esto significa que la pieza soportará más de 1.957 veces la carga diseñada (ver figura 4.40 en donde es descrito la distribución de factor de seguridad). Podemos aceptar este valor tomando en consideración: la robustez de las vigas en el mercado y a su vez el costo por relación de peso, ante esto, tomaremos este factor de seguridad como aceptable. La figura 4.40 muestra los valores y distribuciones más importantes en la estructura para su evaluación.

Importante: De acuerdo a la cantidad de información que se pueda procesar en la computadora, podemos modelar tantos elementos nos sean permitidos según la capacidad del equipo y de la memoria utilizada. En nuestra propuesta; hemos determinado modelar el elemento final con la interrelación de otros elementos para sintetizar el trabajo realizado, ya que el lector notará que se pueden modelar los elementos separadamente o en conjunto.

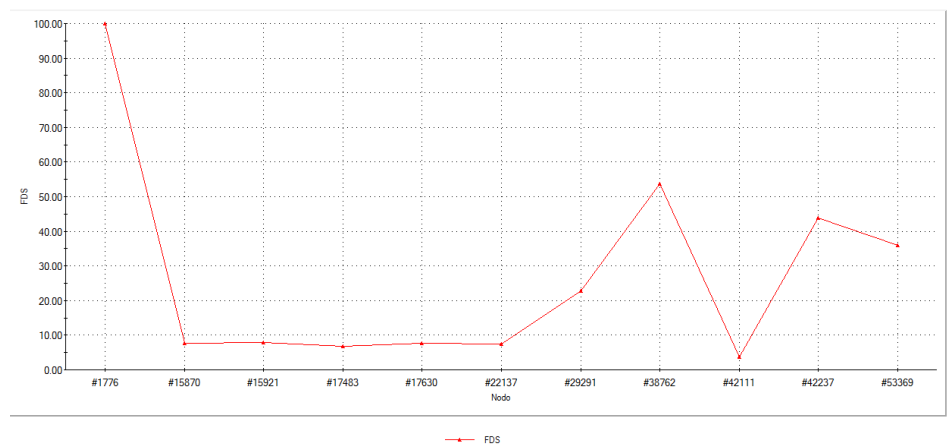
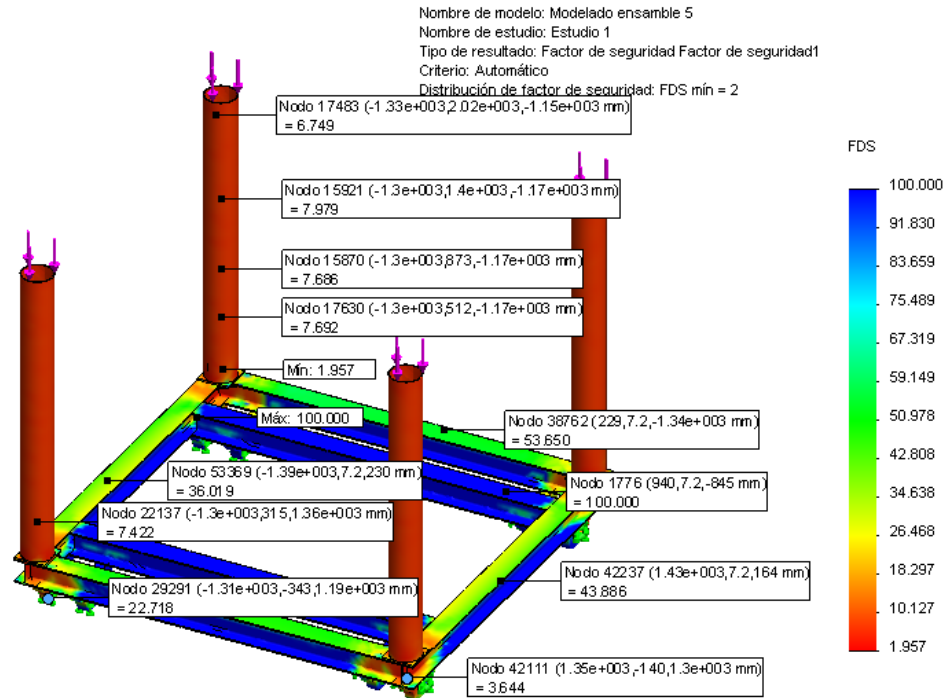


Fig. 4.40 Factor de seguridad de la unidad.

4.7.1.9 Análisis general de las chumaceras de carga (cuerpo principal).

En la parte final del análisis encontramos a las chumaceras que reciben prácticamente todo el peso la máquina y lo transmiten a los rieles inferiores. En este análisis se demuestra el

comportamiento de todo el cuerpo de la chumacera mostrando que el diseño y selección son adecuados para soportar la carga total del alimentador. La chumacera cargará de la siguiente manera, el peso distribuido del total de la tolva de forma general es de 80 toneladas, de las cuales cada chumacera cargará 20 toneladas en peso. Nuestra chumacera tiene dos apoyos libres para distribuir la carga en vía directa, por lo cual cada apoyo cargará 10 toneladas en promedio como se muestra en la figura 4.41. Los materiales a usar para los cuerpos de la chumacera serán de acero al carbón fundido y los bujes y rodamientos de acero inoxidable 316L para la simplificación del mantenimiento.

Para este modelado se eliminara del análisis original el pasador (perno de carga) y la rueda de carga para poder modelar de mejor manera la chumacera, estos dos últimos elementos se modelarán separadamente para determinar esfuerzos más evidentes. Los elementos resultantes del mallado se muestran la figura 4.42.

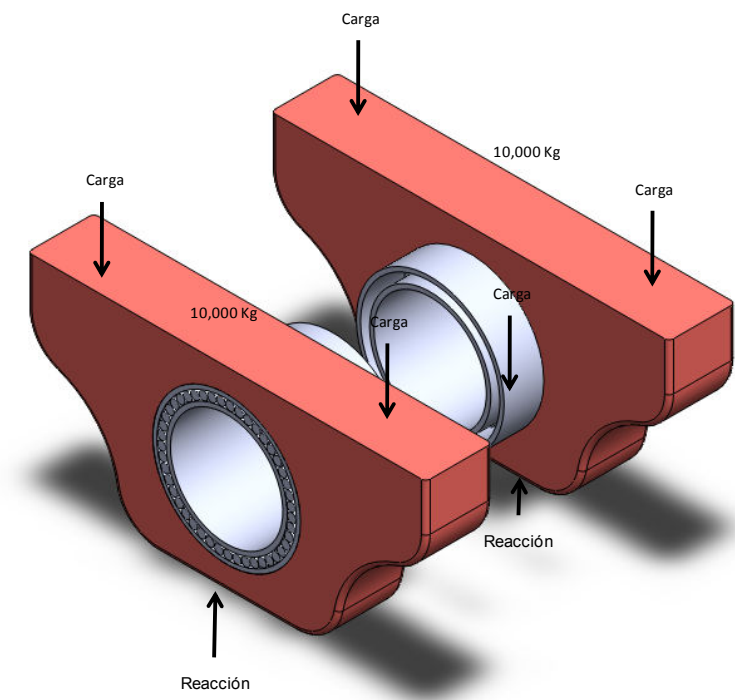
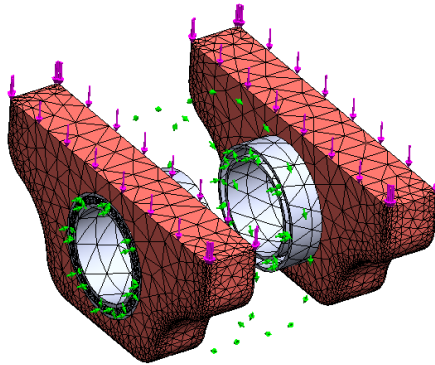


Fig. 4.41 Chumacera de carga, identificación.



<i>Tipo de malla</i>	<i>Malla sólida</i>
<i>Mallador utilizado</i>	<i>Malla estándar</i>
<i>Verificación jacobiana para el sólido</i>	<i>4 puntos</i>
<i>Tamaño de elementos</i>	<i>27.5711 mm</i>
<i>Tolerancia</i>	<i>1.37855 mm</i>
<i>Calidad de malla</i>	<i>Elementos cuadráticos de alto orden</i>
<i>Número total de nodos</i>	<i>183,816</i>
<i>Número total de elementos</i>	<i>103,005</i>

Fig. 4.42 Mallado de elementos y tabla de datos de mallado.

Los resultados de los esfuerzos de Von Mises encontrados se enumeran en la figura 4.43, en esta ocasión solamente mostraremos los resultados máximos y mínimos.

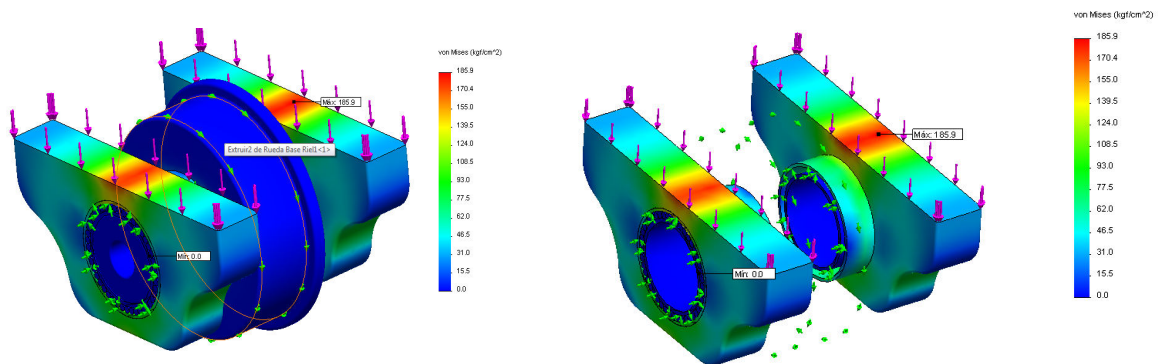


Fig. 4.43 Esfuerzos de Von Mises

Como notaremos, el esfuerzo máximo encontrado es de 185.9 Kg/cm^2 , valor que retomaremos más adelante para determinar el factor de seguridad de la pieza.

Los resultados de los desplazamientos encontrados en la chumacera se muestran en la figura 4.44 en donde podemos apreciar un desplazamiento máximo de 0.072 mm , lo cual no es representativo en una pieza que soporta en carga distribuida 20 toneladas de material en total.

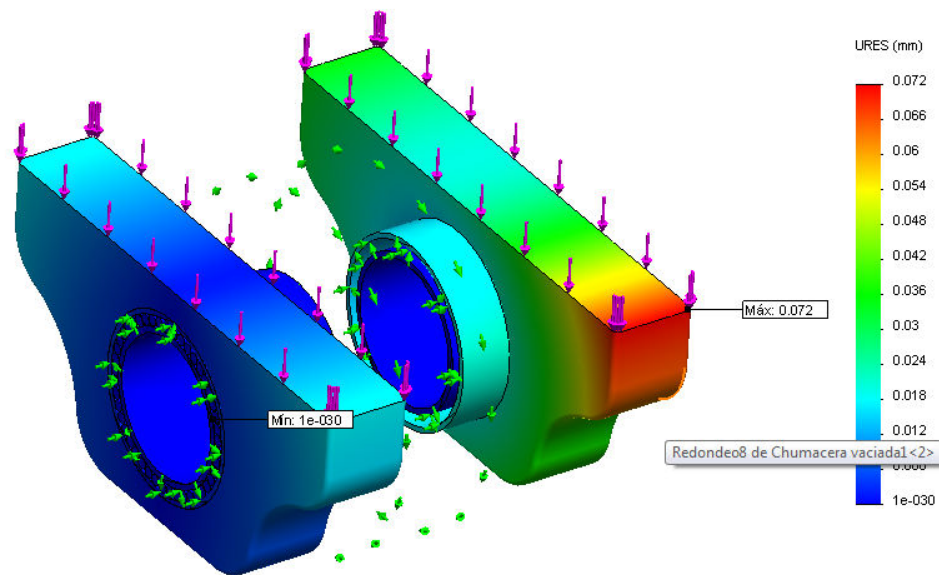


Fig. 4.44 Desplazamientos en la pieza

Al realizar el modelado de la pieza encontramos que la pieza empieza a ceder a los $1,872.26 \text{ kg/cm}^2$, pero el valor que encontramos máximo en nuestra pieza es de 189.5 kg/cm^2 , esto quiere decir que nuestra pieza resistirá 9.88 veces el valor de la carga máxima aplicada en la chumacera, es prematuro decir que conservadoramente el factor que se suele usar en esta piezas es usualmente de 5 (según los manuales mecánicos de algunos proveedores y de acuerdo a experiencias de otros manufactureros en piezas similares), pero en nuestro caso como es un pieza que requiere mínimo mantenimiento decidiremos usarlo como apropiado y sufragarlo con robustez y menor mantenimiento a la larga en uso continuo), ver figura 4.45.

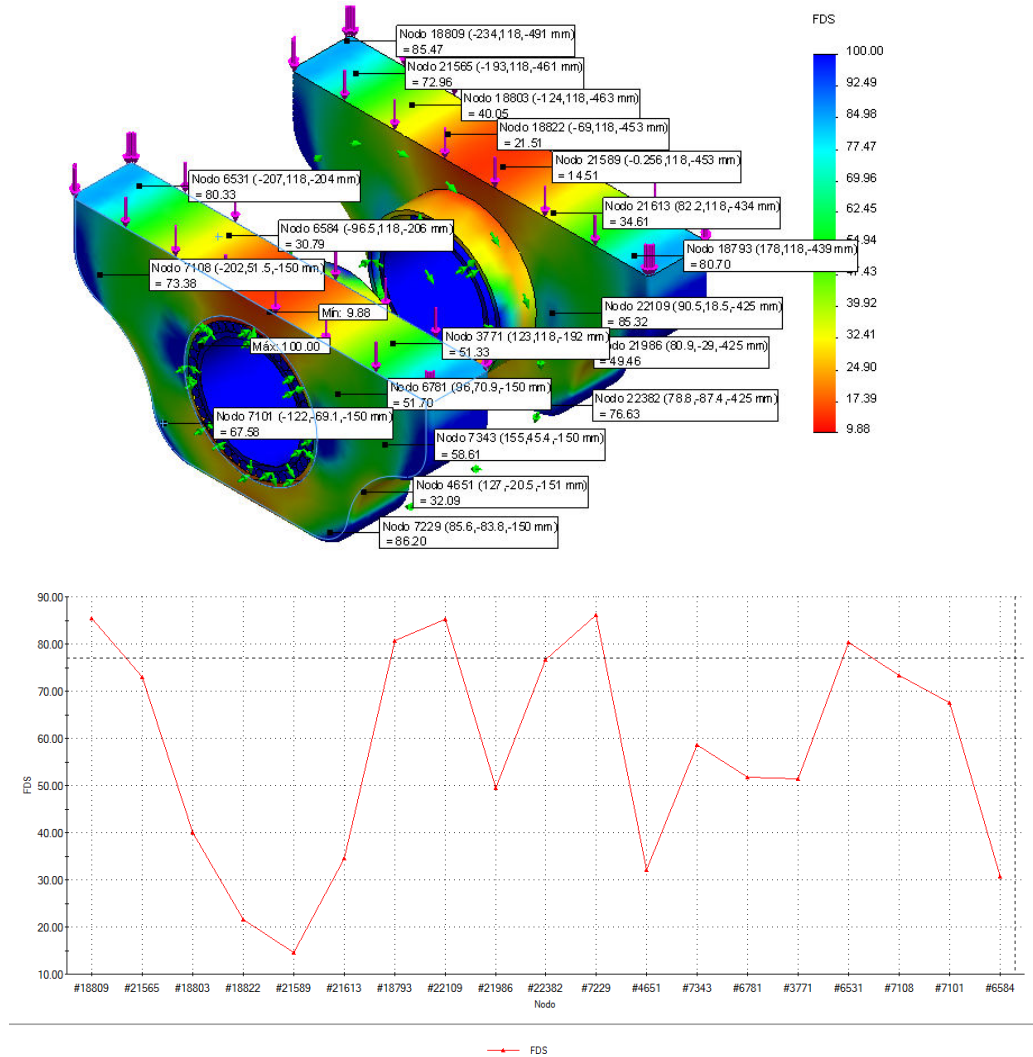


Fig. 4.45 Distribución de factor de seguridad en la pieza.

4.7.1.10 Análisis general del pasador y la rueda de carga.

Procederemos a analizar el sistema del pasador y la rueda de carga para terminar con el análisis de las chumaceras. El pasador recibe la carga repartida de las chumaceras y las reparte en su eje en donde la carga aplicada por extremo es de 10 toneladas y la rueda transmite las 20 toneladas totales resultantes de la aplicación de la carga total (figura 4.46)

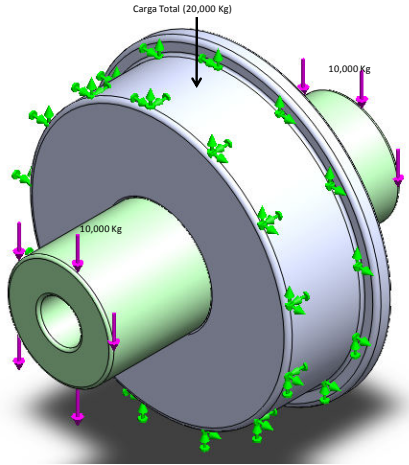
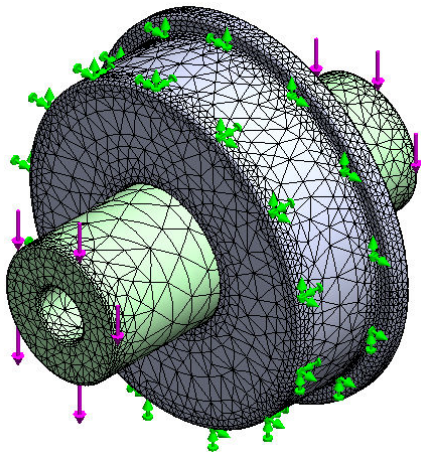


Fig. 4.46 Aplicación de cargas en el perno y la rueda de carga

Procediendo a aplicar el mallado de la pieza (figura 4.47) en donde se muestran los nodos totales de la pieza junto con los datos generales para su modelado.



<i>Tipo de malla</i>	<i>Malla sólida</i>
<i>Mallador utilizado</i>	<i>Malla estándar</i>
<i>Verificación jacobiana para el sólido</i>	<i>4 puntos</i>
<i>Tamaño de elementos</i>	<i>27.5711 mm</i>
<i>Tolerancia</i>	<i>1.37855 mm</i>
<i>Calidad de malla</i>	<i>Elementos cuadráticos de alto orden</i>
<i>Número total de nodos</i>	<i>65,353</i>
<i>Número total de elementos</i>	<i>39,842</i>

Fig. 4.47 Distribución de mallado en la pieza

La distribución de los esfuerzos de Von Mises se muestra a continuación en la figura 4.48, en donde encontramos que el mayor esfuerzo es de 863.3 kg/cm^2 .

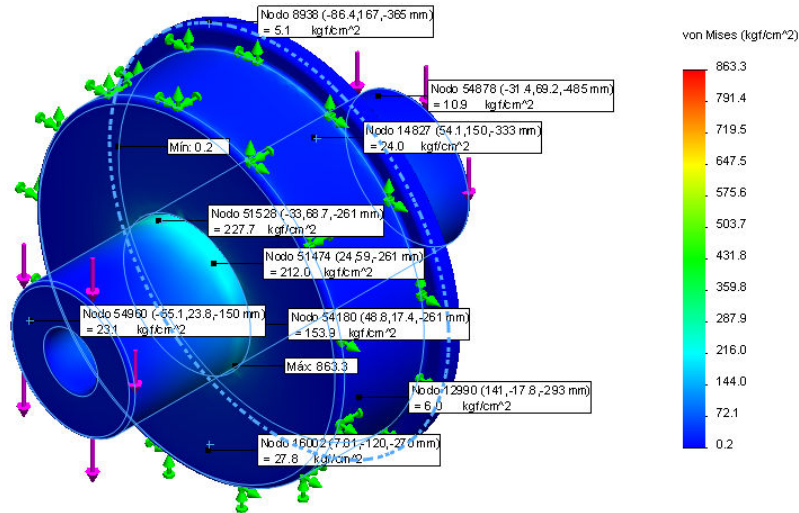


Fig. 4.48 Distribución de esfuerzos de Von Mises

Y el desplazamiento encontrado (figura 4.49) nos arroja un valor de 0.022 mm bastante despreciable para efectos de desplazamiento.

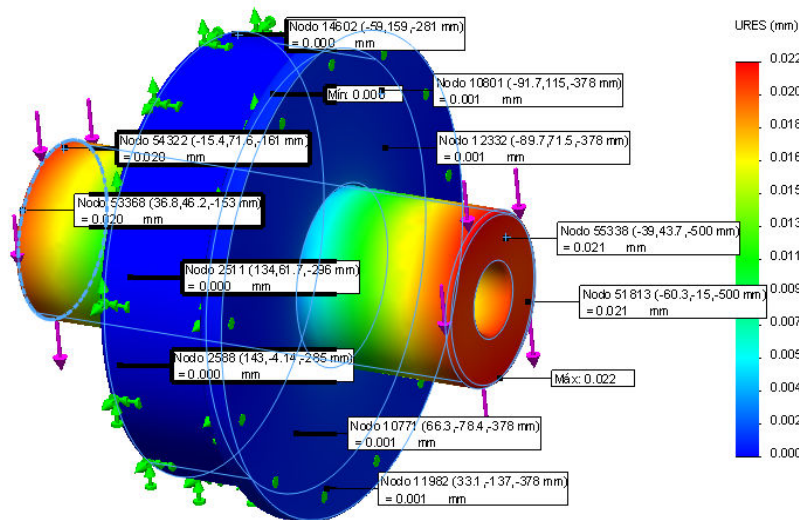


Fig. 4.49 Distribución de desplazamientos en la pieza

El análisis de elemento finito arroja que la pieza tiene un factor de seguridad mínimo de 2, lo que quiere decir que la pieza empezará a fallar cuando el esfuerzo de Von Mises se rebase

(1726.6 kg/cm²) o dicho de otra manera una carga de la tolva de 160 toneladas, lo cual es prácticamente imposible, por lo tanto consideraremos este resultado como aceptable (figura 4.50).

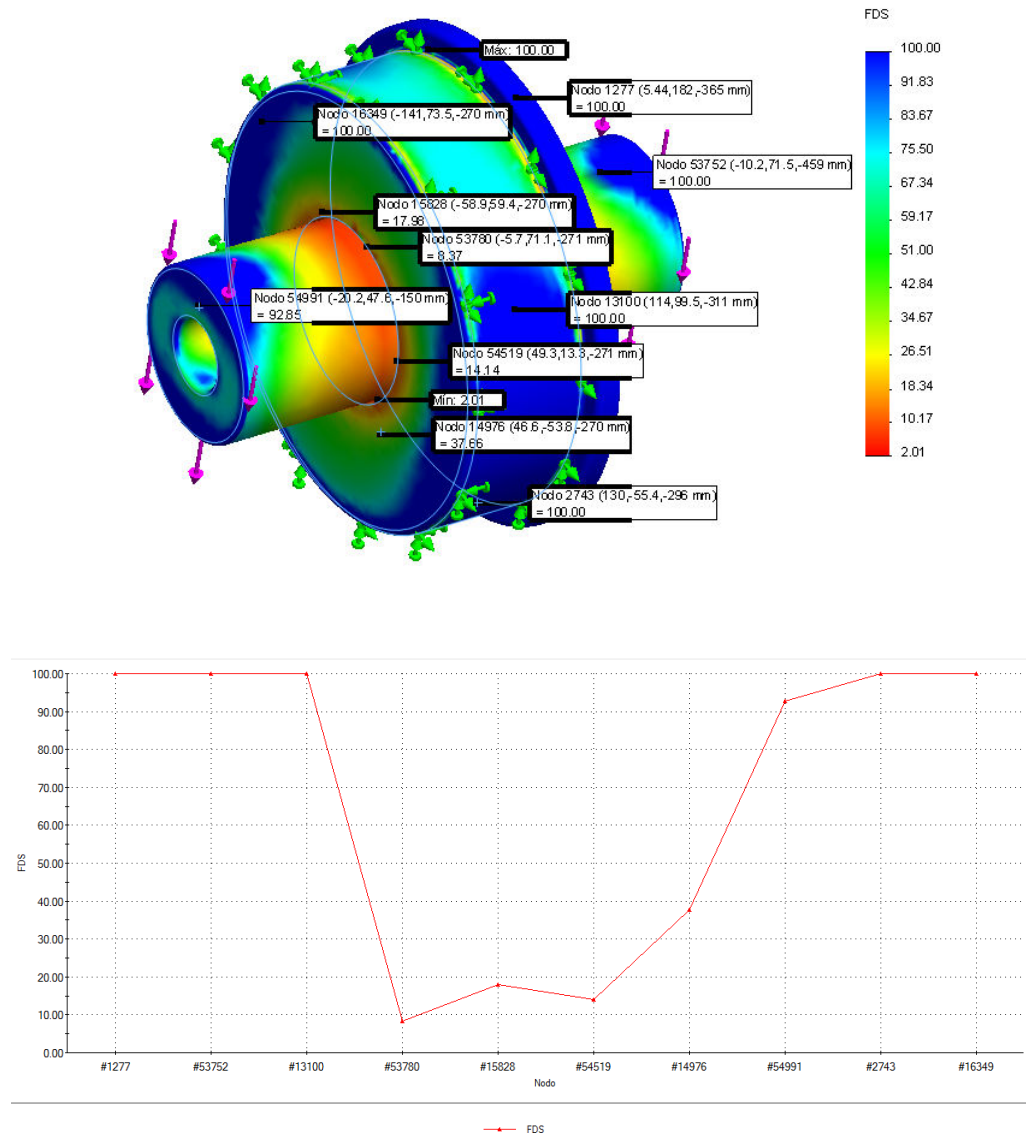


Fig. 4.50 Distribución de factor de seguridad en la pieza

CAPÍTULO 5

ENSAMBLE Y MANUFACTURA DEL EQUIPO

Este apartado describe la forma del ensamble de algunas piezas representativas del cargador de material, solamente se enumerarán las que han sido objeto de permiso para su divulgación, debido a los derechos de propiedad intelectual y desarrollo en el que incurre este diseño, ya que la máquina objeto de este estudio se está desarrollando y construyendo actualmente en las instalaciones de la planta. Hemos obtenido concesión del representante legal de la firma para dar a conocer parte del desarrollo para la tolva superior junto con el “aero charger”. El sistema de control eléctrico no se incluye en este ensamble por rebasar los alcances del permiso concedido así como el ensamble y diseño del alimentador sinfín pues este se manufacturará con un subcontratista interno del grupo industrial el cual posee los derechos del equipo a proveer entre otros varios componentes ya desarrollados.

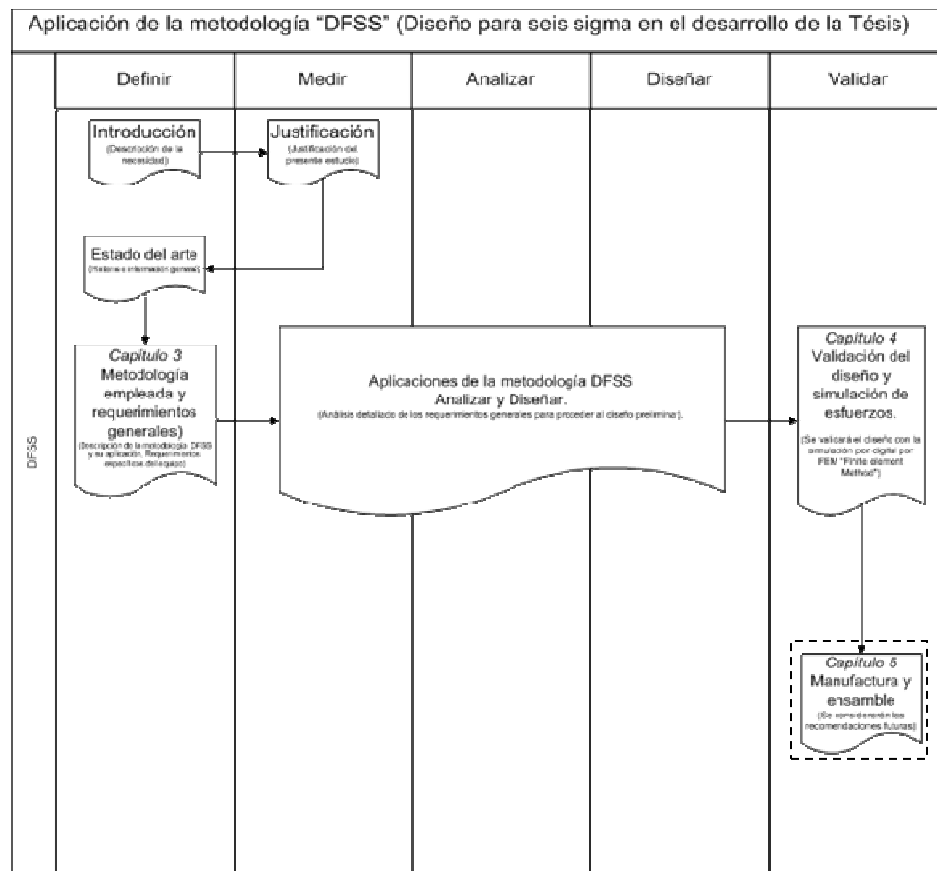


Tabla 1.5 Aplicación de la metodología DFSS en el desarrollo de la tesis.

5.1 Ensamble general de la unidad cargadora de material.

Procederemos con la identificación de las partes principales de la unidad en las cuales desglosaremos el ensamble de los componentes autorizados (únicamente de las piezas sobre las que se obtuvieron autorización por derechos de propiedad intelectual (ver figura 5.1 y 5.2). De manera ilustrativa, mostraremos los principales componentes del equipo:

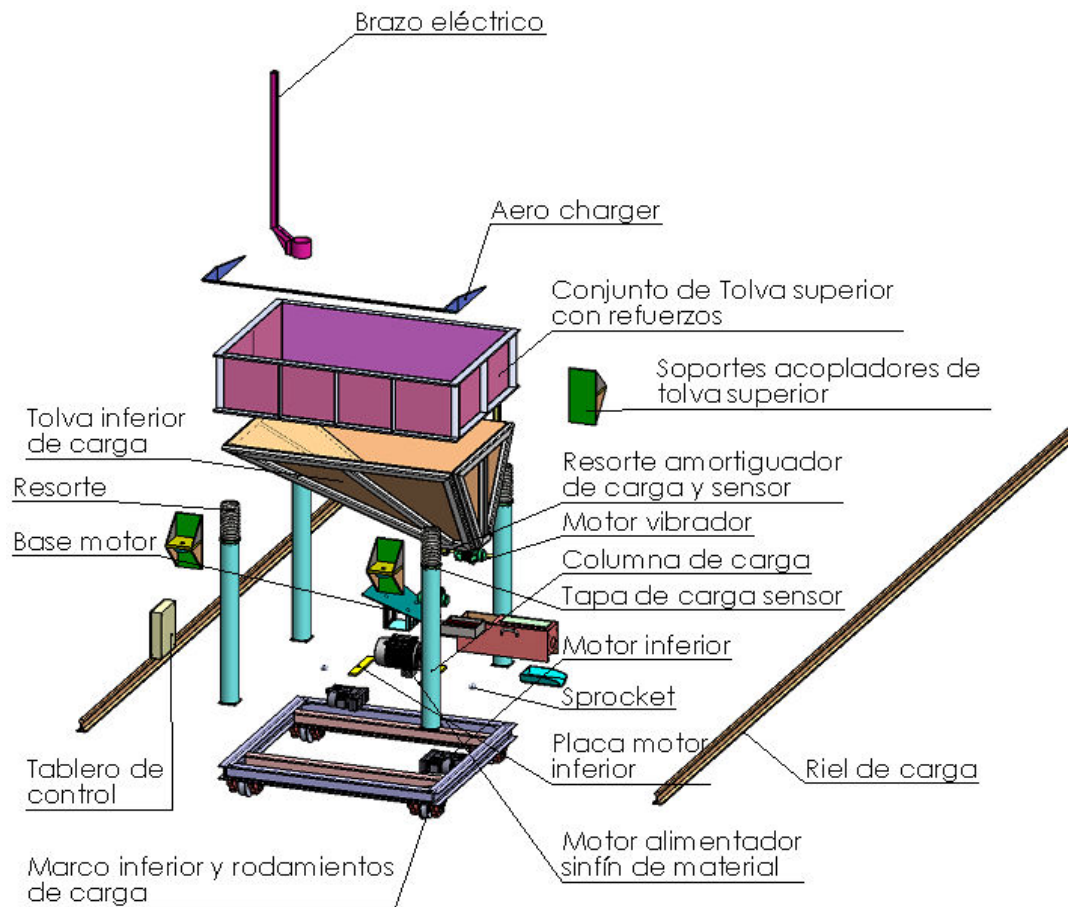


Fig. 5.1 Despiece general de la unidad cargadora de material.

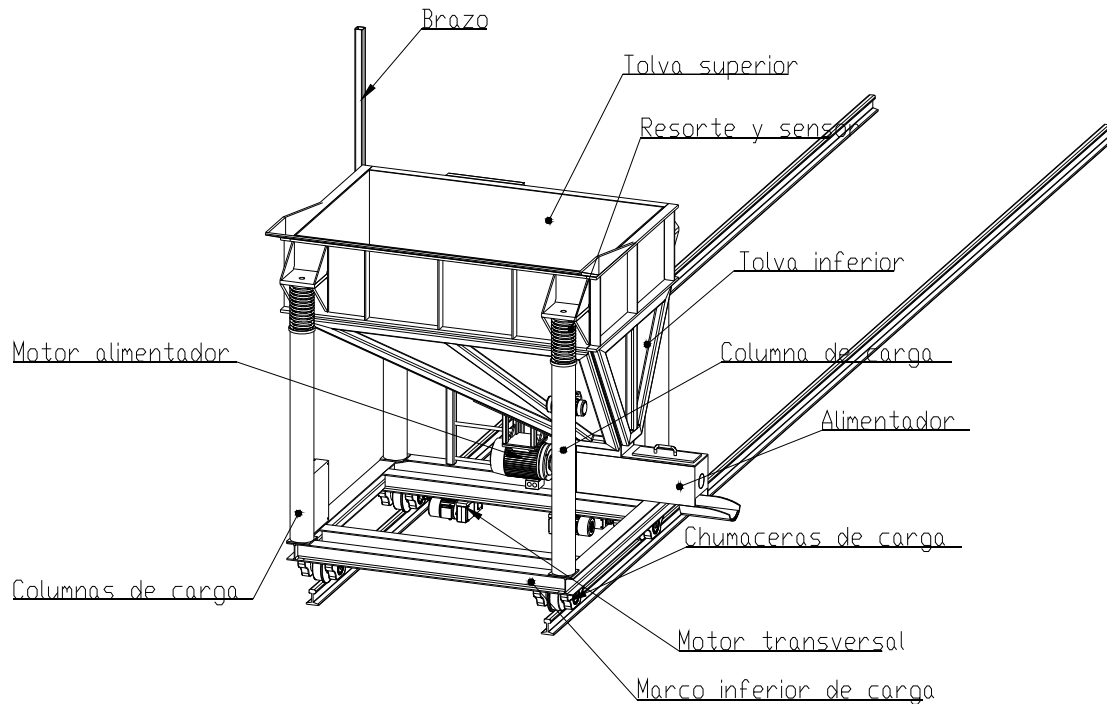


Fig. 5.2 Despiece general de la unidad cargadora de material (continuación).

El sistema de funcionamiento y descripción de componentes ya se ha descrito con anterioridad, en esta sección solamente haremos la descripción de los componentes que se autorizaron para mostrar en este trabajo.

De manera general, a través del desarrollo de la tesis, hemos diseñado el equipo de tal manera que la manufactura del mismo sea bastante sencilla. Los componentes fueron diseñados para ser ensamblados en obra (armado y manufactura en sitio) con lo cual este equipo podrá modificarse posteriormente si se requiere alguna mejora al respecto. Todos los sub ensambles serán montados y se soldarán a efecto de simplificar la estructura al armar. El “aero charger” y la tolva son elementos estructurales de fácil ensamble, unidos por medio de soldadura de acero inoxidable 316L, los componentes de cada elemento fueron diseñados para ser cortados y ensamblados de manera rápida. Para darle al lector una idea de la cantidad de elementos para ensamble que fueron desarrollados, de manera resumida fueron alrededor de 260 componentes, muchos de ellos, bastante similares o iguales a otros. Mostramos el ensamble general con detalles especiales para mayor entendimiento e identificación (figura 5.3, 5.4 y 5.5).

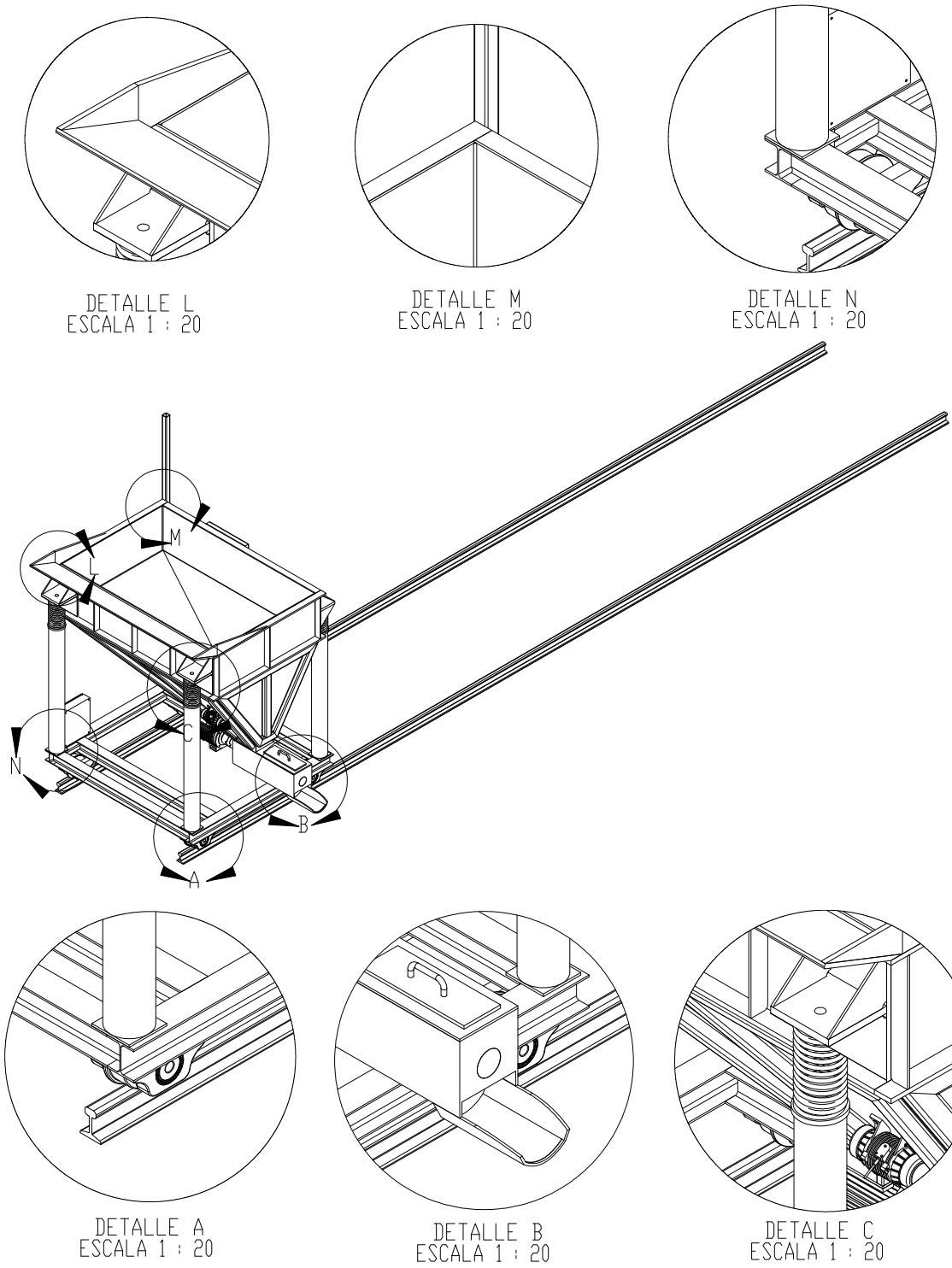


Fig. 5.3 Despiece general de la unidad cargadora de material (detalle de ensamble).

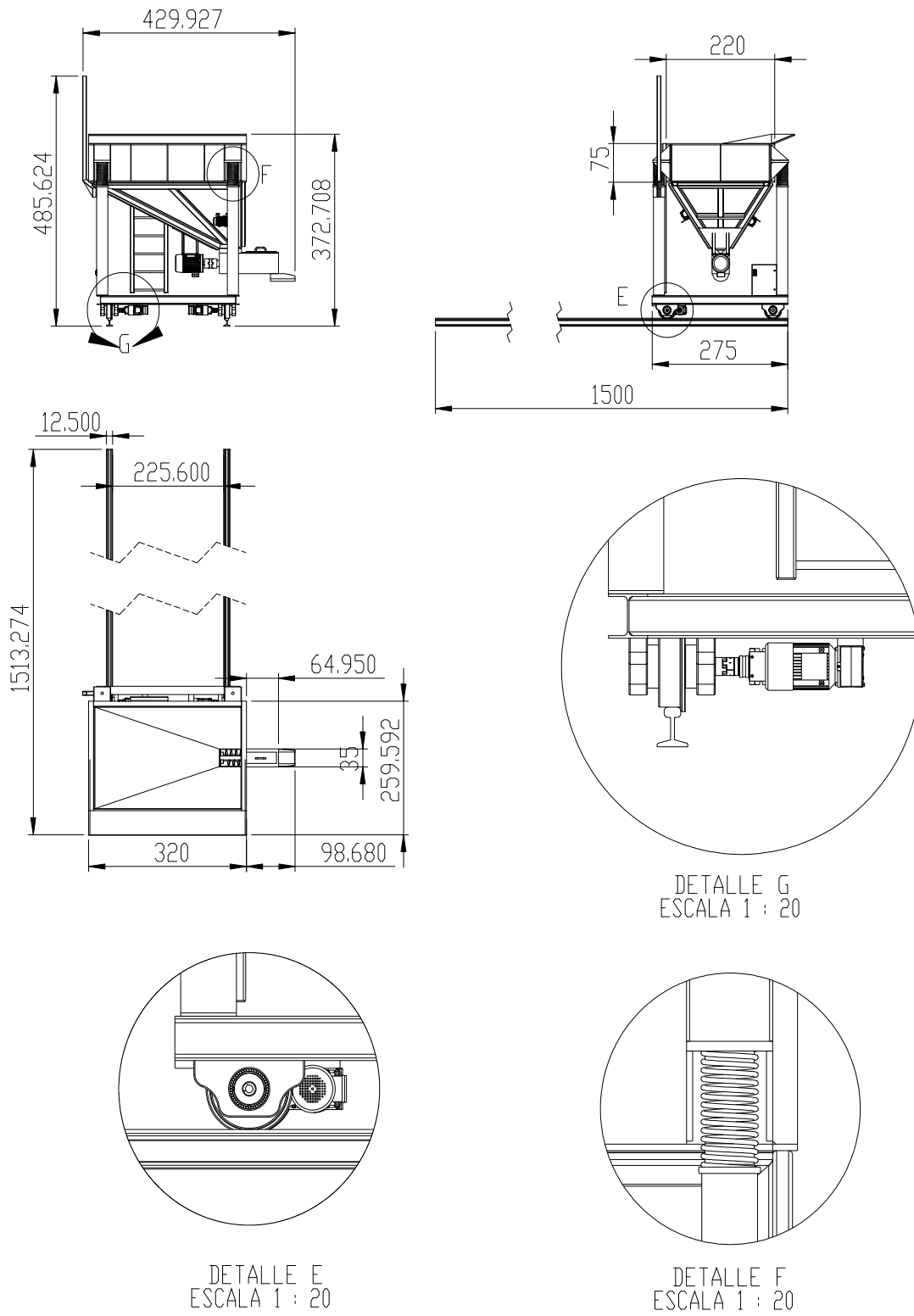


Fig. 5.4 Despiece general de la unidad cargadora de material (detalle de ensamble).

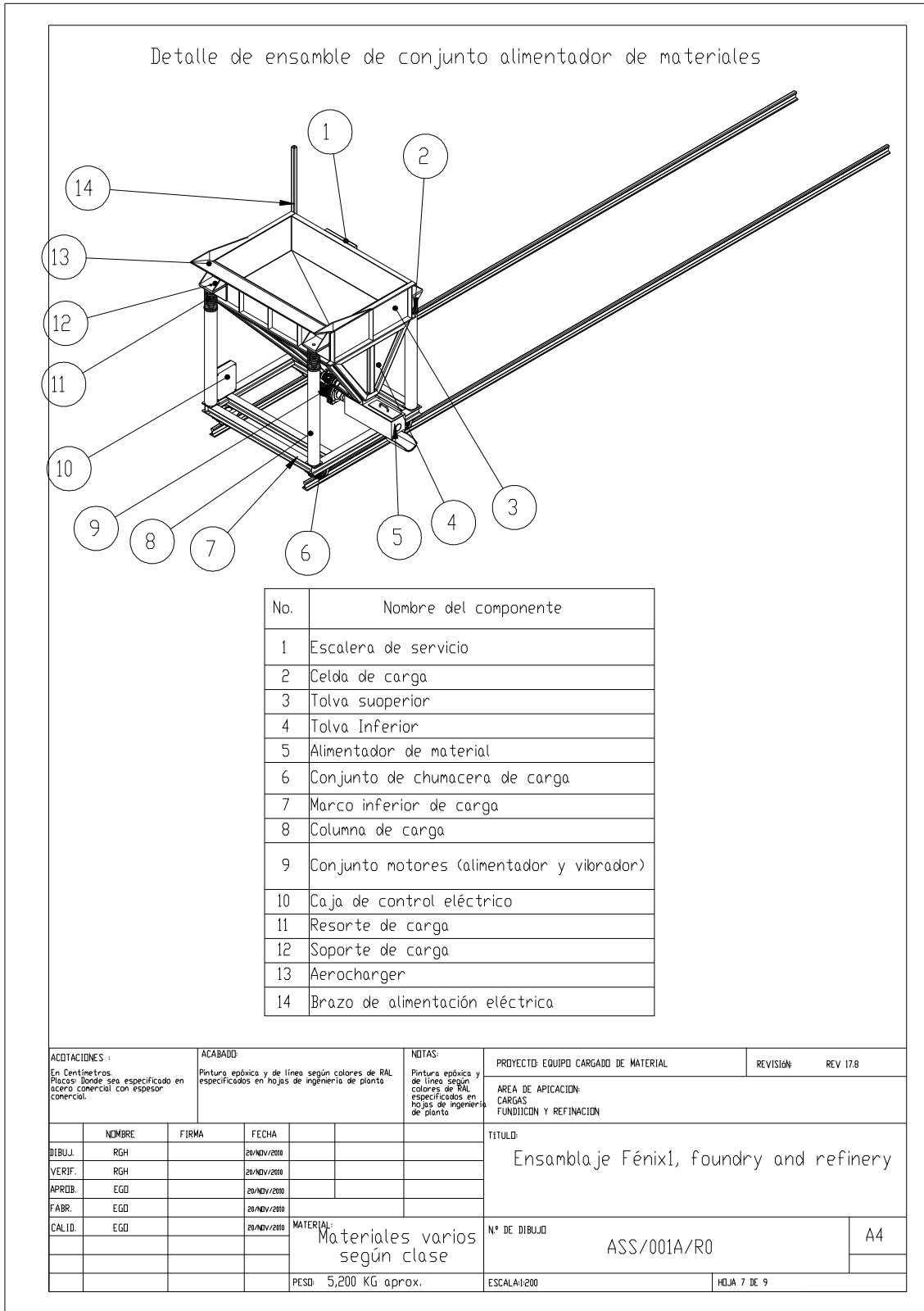


Fig. 5.5 Despiece general de la unidad cargadora de material (detalle de ensamble).

Todos los elementos que se manejan en la unidad se muestran claramente, por lo cual es visible que el realizar el ensamble del cargador tiene diferentes elementos de interrelación.

5.2 Conjunto de ensamble del “aero charger” y de la tolva superior.

5.2.1 Manufactura y ensamble del equipo.

5.2.1.1 Aero charger.

Todos los componentes del aero charger han sido ensamblados en placa de acero inoxidable AISI 316L de espesor comercial de una pulgada (2.54 cm). Los elementos de conexión son muy fáciles de visualizar y se realizan con soldadura para acero inoxidable 316L ó E/316L. Los espesores de soldadura son de 1.5 cm cóncavos de aplicación en bisel y alta penetración.

La unidad se compone de 3 placas cortadas para su ensamble, cada una de ellas se coloca en los extremos de la placa “central aero charger”, con aplicación de soldadura en bisel, se recomienda desbastar a 45° con una profundidad de 0.5cm x 0.5 cm para asegurar una buena penetración.

Los elementos deben estar libres de polvo o suciedad para realizar el soldado correcto entre las partes. Al colocar las placas laterales se ajustan con unas prensas mecánicas para el ajuste de posición, posteriormente se aplica soldadura para acero inoxidable “E 316L”. La hoja técnica de ensamble se muestra en la figura 5.6.

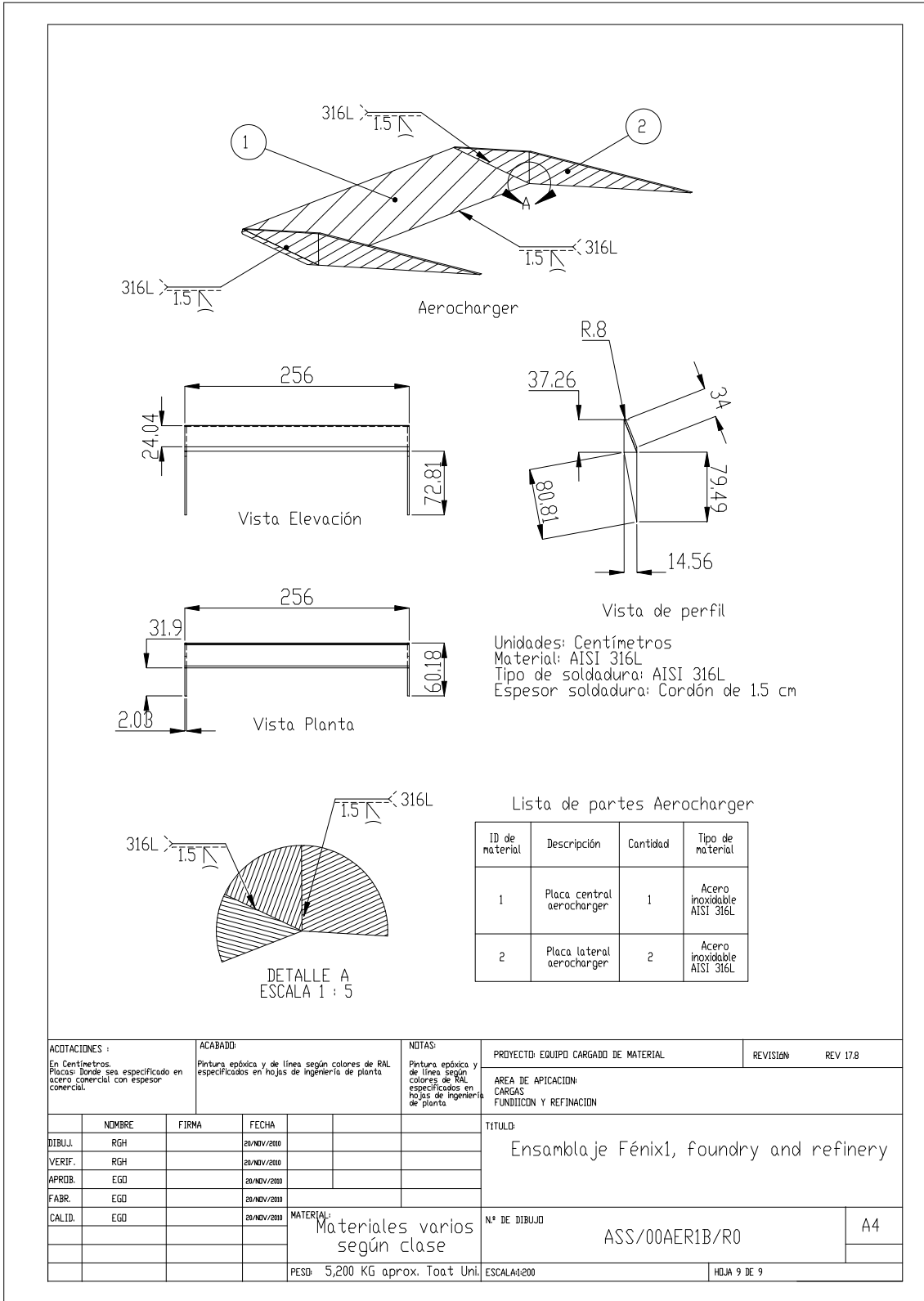


Fig. 5.6 Despiece general del aero charger. Ensamble de unidad.

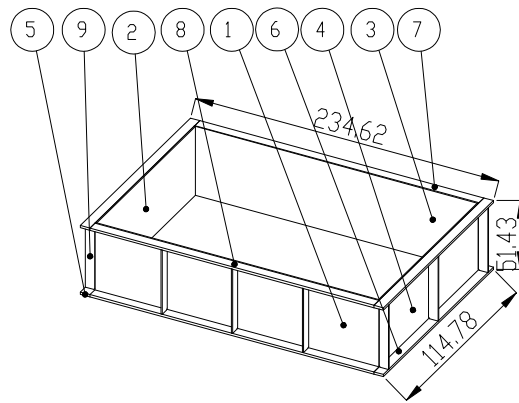
5.2.1.2 Tolva superior.

Los componentes de la tolva superior se muestran en la figura 5.7, en donde se pueden ver claramente las piezas que la conforman. Las placas centrales del sistema son de acero inoxidable 316L al igual que los marcos exteriores, el resto (cartelas de refuerzo) son de acero al carbón 1040.

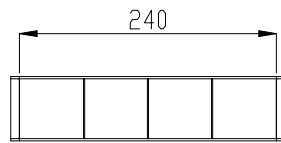
Se procede a realizar el ensamble de los marcos superiores e inferiores, la unión entre ellos debe ser de alta penetración por lo consiguiente las uniones deben realizarse a 45° y desbaste en caras biseladas de 0.5 cm x 0.5 cm. La soldadura de aplicación será con electrodos “E 316L” de alta penetración, esto se hace para los dos marcos. Una vez soldadas las placas se procede a montar los marcos junto con las placas del conjunto, realizando el mismo procedimiento de biselado para garantizar una soldadura de alta resistencia igual que la anterior que soportará parte del material recibido para alimentar el horno. Una vez soldadas todas piezas del conjunto, se les aplicará limpieza en la superficie de la soldadura para retirar la escoria resultante por efecto de la protección del electrodo.

El conjunto de la tolva superior tiene refuerzos para evitar al mínimo la deformación de las placas de contención de la tolva, estas cartelas son a base de acero al carbón 1040, por lo cual aplicaremos soldadura comercial base “E 7018” de alta penetración, la preparación de la tolva se realiza espaciando las cartelas entre cara y cara como se describe en las figuras 5.7, 5.8, 5.9 y 5.10. El procedimiento de aplicación es con bisel de 0.5 cm x 0.5 cm de los cuales se realizan en las caras de las cartelas a efecto de garantizar la unión entre ellas.

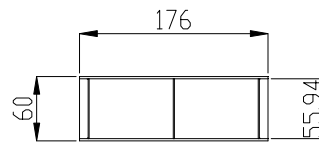
Detalle de ensamble de conjunto alimentador de materiales



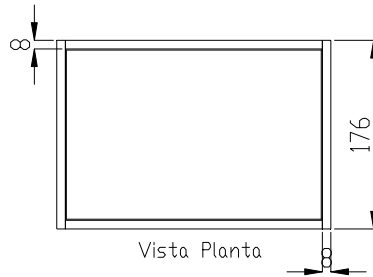
Tolva superior



Vista Elevación



Vista perfil



Vista Planta

Lista de partes para ensamble

ID de elemento	Descripción	Cantidad	Tipo de material
1	Solera A1	1	Acero inoxidable AISI 316L
2	Solera A2	1	Acero inoxidable AISI 316L
3	Solera A3	1	Acero inoxidable AISI 316L
4	Solera A4	1	Acero inoxidable AISI 316L
5	Solera Lateral 2200 A5	2	Acero inoxidable AISI 316L
6	Solera Lateral 2200 A7	2	Acero inoxidable AISI 316L
7	Solera superior 3000 A6	2	Acero inoxidable AISI 316L
8	Solera superior 3000 A7	2	Acero inoxidable AISI 316L
9	Placa cartela refuerzos laterales	12	Acero al carbón 1040

Unidades: Centímetros
 Material: de soleras: AISI 316L
 Tipo de soldadura: AISI 316L
 Material de cartelas: Acero al carbón 1040
 Tipo de soldadura: 7018 alta penetración

ACOTACIONES : En Centímetros. Placas: Donde sea especificado en acero comercial con espesor comercial.		ACABADO: Pintura epóxica y de línea según colores de RAL especificados en hojas de ingeniería de planta.		NOTAS: Pintura epóxica y de línea según colores de RAL especificados en hojas de ingeniería de planta.		PROYECTO: EQUIPO CARGADO DE MATERIAL		REVISIÓN: REV 17.8	
DIBUJ.: RGH		FIRMA:		FECHA: 20/NOV/2010		TÍTULO: Ensamblaje tolva superior			
VERIF.: RGH		FIRMA:		FECHA: 20/NOV/2010		ÁREA DE APLICACIÓN: CARGAS FUNDICIÓN Y REFINACIÓN			
APROB.: EGO		FIRMA:		FECHA: 20/NOV/2010		N° DE DIBUJO: ASS/00BA/R2			
FABR.: EGO		FIRMA:		FECHA: 20/NOV/2010		MATERIAL: Materiales varios según clase			
CALID.: EGO		FIRMA:		FECHA: 20/NOV/2010		PESO: 5,200 KG aprox.			
						ESCALA: 1:200		HOJA 2 DE 6	

Fig. 5.7 Despiece general de la tolva superior.

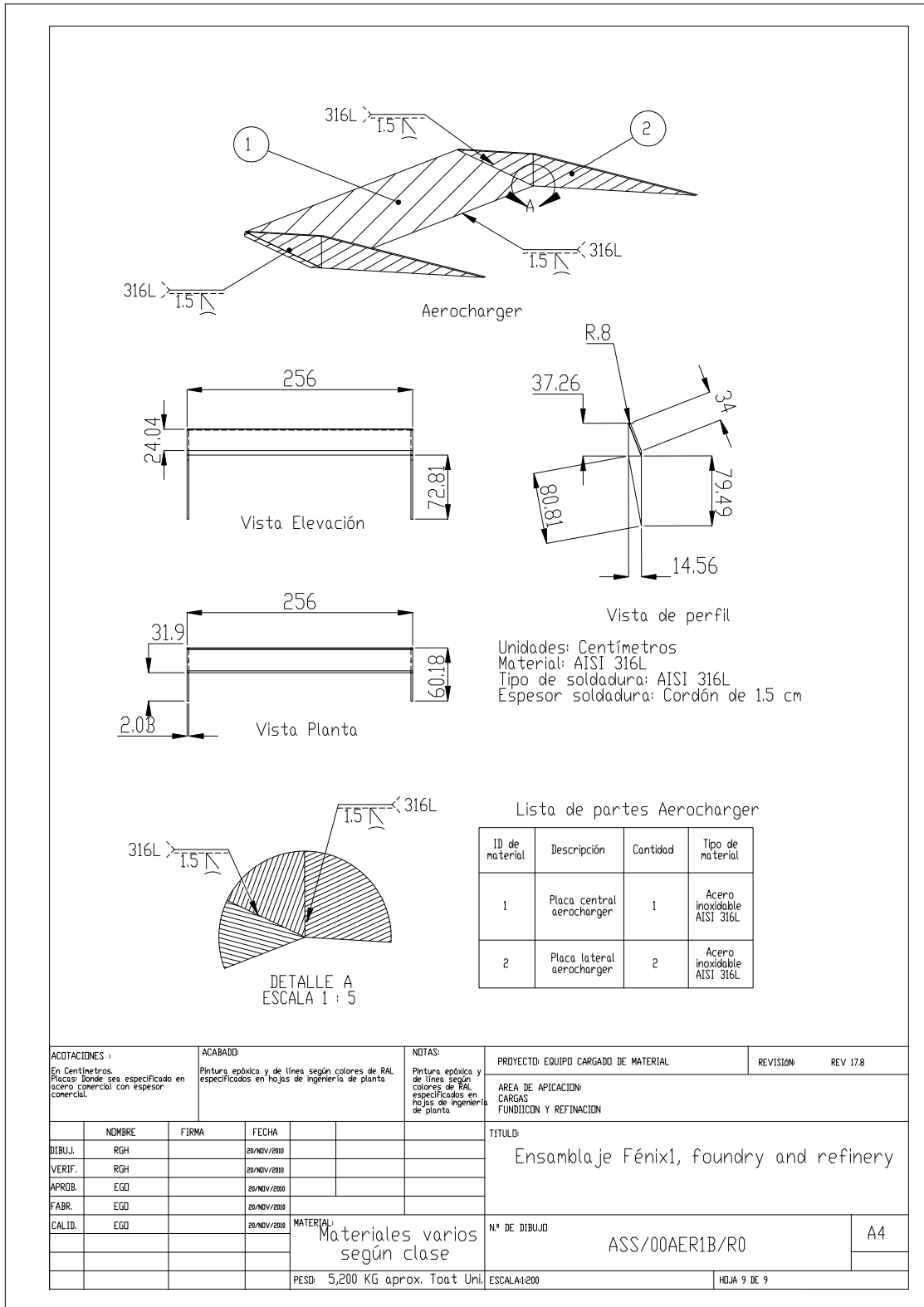


Fig. 5.8 Despiece general de la tolva superior (continuación).

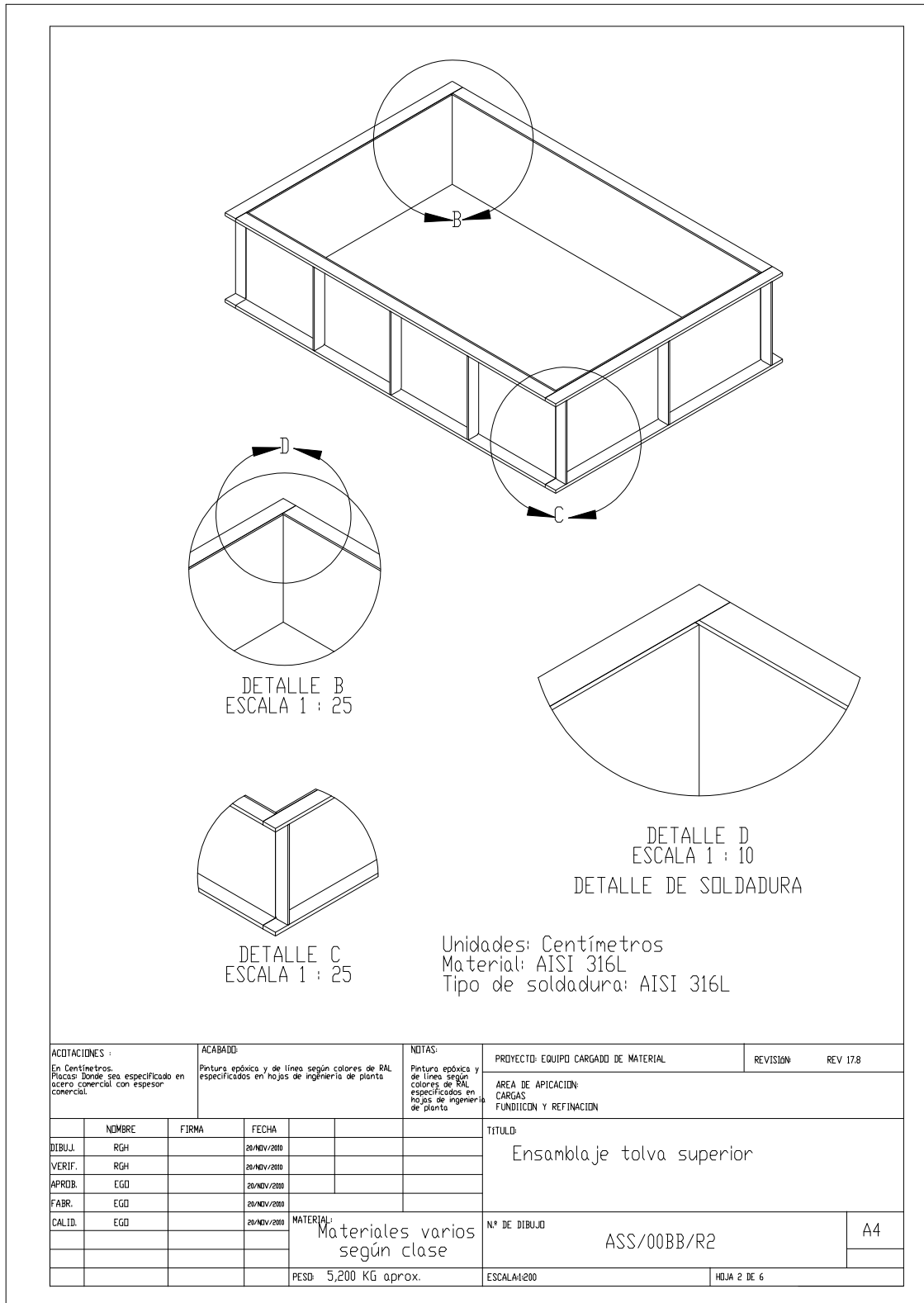
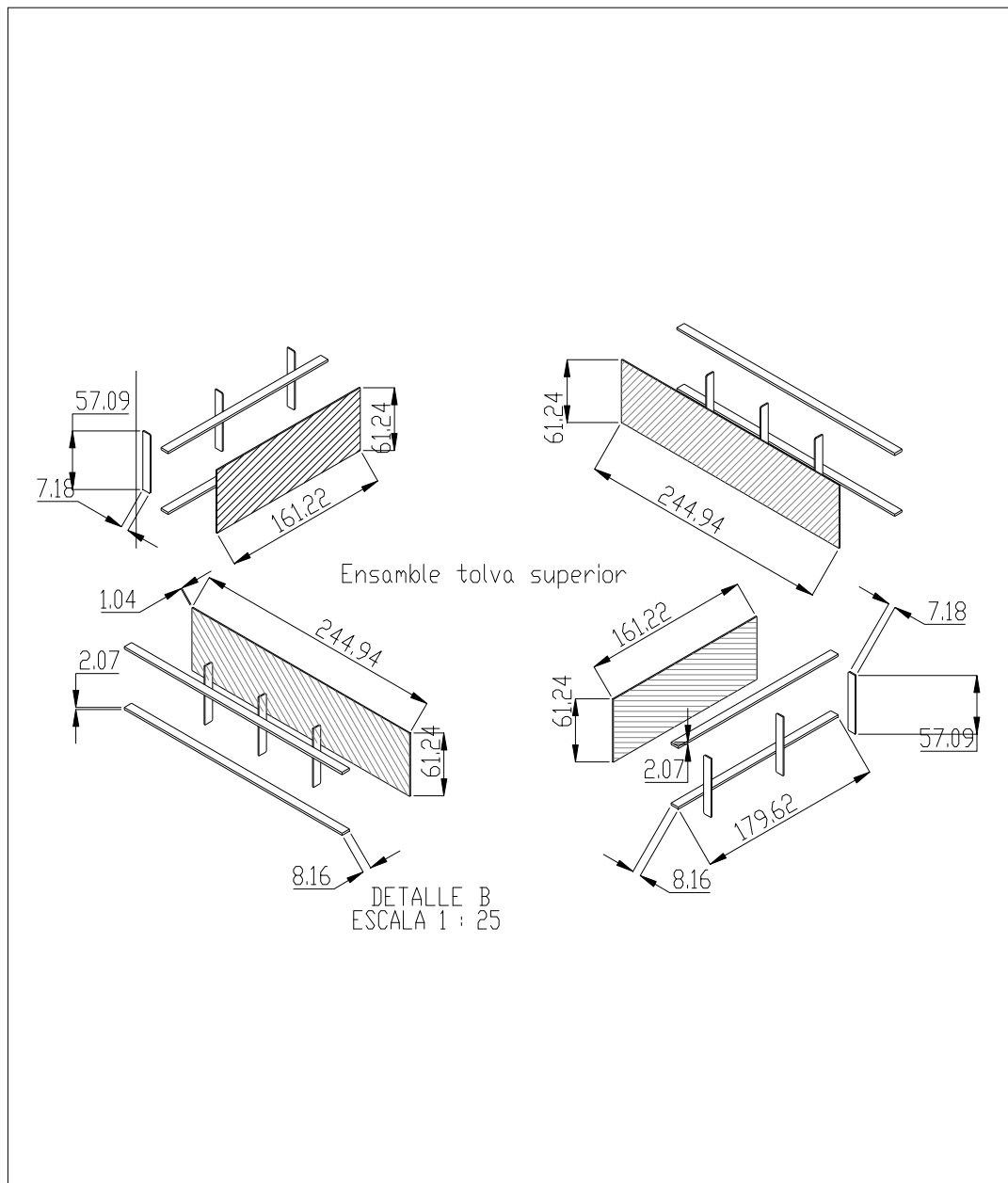


Fig. 5.9 Despiece general de la tolva superior (continuación).



ACOTACIONES : En Centímetros. Placas: Donde sea especificado en acero comercial con espesor comercial.		ACABADO: Pintura epóxica y de línea según colores de RAL especificados en hojas de ingeniería de planta.		NOTAS: Pintura epóxica y de línea según colores de RAL especificados en hojas de ingeniería de planta.		PROYECTO: EQUIPO CARGADO DE MATERIAL	REVISIÓN: REV 178
						ÁREA DE APLICACIÓN: CARGAS FUNDICIÓN Y REFINACIÓN	
	NOMBRE	FIRMA	FECHA			TÍTULO: Ensamblaje tolva superior	
DIBUJ.	RGH		20/NOV/2010				
VERIF.	RGH		20/NOV/2010				
APROB.	EGD		20/NOV/2010				
FABR.	EGD		20/NOV/2010				
CALID.	EGD		20/NOV/2010	MATERIAL: Materiales varios según clase		Nº DE DIBUJO ASS/00BC/R2	A4
				PESO: 5,200 KG aprox.		ESCALA: 1:200	HOJA 2 DE 6

Fig. 5.10 Despiece general de la tolva superior (continuación).

5.2.1.3 Costos de manufactura de la tolva superior.

Para realizar los costos de manufactura incurridos, existen dos mecanismos que se usan en el mercado actualmente en base a los costos unitarios, el primero de ellos es realizando un catálogo de conceptos real y el otro es un costo a mano alzada (el más común de ellos) con cada uno de los costos incurridos en donde se incluyen gastos de ingeniería, diseño, materiales (cada uno de ellos), consumibles (soldaduras, uso de programas CAD, agua, servicios), materiales (costo de materiales, fletes, manejo), ensamble (cantidad de operadores, maquinaria, equipos especiales), fletes (transporte de equipos en planta, permisos), utilidad (porcentaje de utilidad en base a las horas trabajadas) entre una infinidad de factores.

Los costos a mano alzada toman en cuenta en factor de “número de veces” el valor del material para obtener el costo a mano alzada. Dando un ejemplo, es común encontrarnos con esto cuando contratamos un servicio de albañilería, normalmente nos dicen que nos van a cobrar lo mismo que se va a gastar de material o un poco más.

En nuestro caso determinaremos el factor de costo por unidad de ensamble por kilogramo de material general instalado para un mayor entendimiento del lector. El cálculo real se ha realizado en base a sistema de paquetería de costos unitarios llamado OPUS, es un software de amplio uso en el mercado nacional. La ventaja de esta aplicación es que está relacionada con los precios del mercado en todos los sentidos de materiales, mano de obra y generales. continuación mostramos un resumen en la tabla 5.1:

FABRICACION EQUIPO FENIX 1					
Cliente: Reciclado de acumuladores ácidos de plomo					
ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
Código	Concepto	Unidad	Costo (mxp)	Cantidad	Importe
Análisis general de unidad cargadora de material. Unidad: Kg de material procesado.					
A	Aplicación de pintura epóxica 100% solido, NERBLOCK II catalizado 100% solido, con resinas epóxicas, aplicado sobre unidad cargadora, con una capa mínima de 4 mm. incluye: limpieza de unidad, aplicación de adherente, con aplicación química de sere necesaria, habilitado, soldadura y ensamble de equipo en sitio.				
B	Habilitado de equipo, soldao de partes, ensamble de componentes, limpieza, desbaste, perfilado, acarreo de material y transporte , pago de operadores,.				
C	Entrega de equipo e instalación, sensores de carga, resortes, motores y vibradores, chumaceras, vigas IPR, travesaños, sistema eléctrico para su correcta ejecución y servicio.				
MATERIALES					
MTLIMP001	PINTURA EPOXICO NERBLOCK II 100% SOLIDO	LTS.	\$95.00	1.20	\$114.00
MTLIMP065	CATALIZADOR EPOXIMASTIC VF525	LTS.	\$45.00	1.20	\$54.00
MTLIMP044	BROCHA DE 4" Y 6"	PZA.	\$51.00	0.15	\$7.65
MTLIMP049	PLACA DE ACERO INOXIDABLE DE CALIBRE COMERCIAL	KG.	\$134.00	5,205.00	\$697,470.00
MTLIMP101	SOLDADURA INOX. 316-L INFRA	KG.	\$37.00	244.00	\$9,028.00
MTLIMP145	Columna de carga Ceargon 1040, Tersil.	PZA.	\$5,900.00	4.00	\$23,600.00
MTLIMP1477	Vigas de carga IPR 478 1040 Tern, HEB	PZA.	\$11,544.00	3.000000	\$34,632.00
MTLIMP1477	Cableado sistema de carga	PZA.	\$85,411.00	1.000000	\$85,411.00
EQUIPO					
EQUIPO001	Equipo vibrador KHOL, 56984, 45 RPM	PZA	\$11,545.00	2	\$23,090.00
EQUIPO002	Motor de transmisión SIIRS, 2 HP, cpon sistema de transporte y fijación, mando a control electrico 220 VCA	PZA	\$29,850.00	2	\$59,700.00
EQUIPO003	Celdas de carga Silme, 45645SD74	PZA	\$3,985.00	4	\$15,940.00
EQUIPO004	Escalera marina, Birsus, 45IU9	PZA	\$7,855.00	1	\$7,855.00
EQUIPO005	Sistema eléctrico de control Bahus	EQUIPO	\$89,452.00	1	\$89,452.00
EQUIPO006	Chumaceras de carga, rodamientos SKF, sistemas de cojinetes e instalación en sitio.	PZA	\$15,611.00	4	\$62,444.00
EQ0000005	EQUIPO OXICORTE	MXP/HRHR	\$105.00	90.990000	\$9,553.95
EQ0000005	SOLDADORA ELECTRICA 300 AMP.	MXP/HRHR	\$111.00	90.990000	\$10,099.89
EQ0000005	DOBLADORA DE LAMINA	MXP/HR	\$99.00	30.330000	\$3,002.67
MANO DE OBRA					
MTAGRE007	CUAD.No.01(1.0 AYTE.+0.10 CABO)	MXP/DIA	\$401.00	90.990000	\$36,486.99
MTPINT006	CUAD.No.05(1.0 PINTOR+1.0 AYTE.)	MXP/DIA	\$954.00	90.990000	\$86,804.46
MTPINT006	CUAD.No.91(1.0 SOLDADOR AAA+1.0	MXP/DIA	\$1,544.00	72.792000	\$112,390.85
MTPINT006	CUAD.No.11(1.0 HERRERO+1.0 AYTE.)	MXP/DIA	\$988.00	90.990000	\$89,898.12
MONTAJE001	Equipo de montaje en obra	MXP/DIA	9855	90.990000	\$896,706.45
					\$2,353,741.03
ANALISIS DE COSTO TOTAL					
COSTO DIRECTO		5.00%			\$117,687.05
INDIRECTOS		10.00%			\$235,374.10
FINANCIAMIENTO		0.23%			\$5,413.60
UTILIDAD		15.00%			\$353,061.15
PRECIO UNITARIO					\$3,065,276.94
FACTOR DE COBRO EN BASE A MATERIALES Y KG INSTALADOS					2.71 VECES

Tabla 5.1 Análisis de costos unitarios unidad cargadora de material.

En base a la tabla anterior, denotaremos que los costos incurridos para la manufactura del presente equipo se desglosan en la tabla mostrada. Normalmente para cotizar y generar los costos se toman en cuenta varios factores, de los cuales comentaremos como principales: los materiales, el equipo a utilizar, la mano de obra involucrada, los costos indirectos, el financiamiento y la utilidad esperada como explica a continuación:

Materiales: Esta sección analiza los materiales necesarios para la construcción y manufactura de equipo, el desglose del mismo se detalla en kilogramos de material, al final este factor será determinante para desglose de costos en un presupuesto a mano alzada.

Equipo: Considera todos los equipos que se utilizarán en el ensamble, soldadura, pintado y habilitado de componentes de la unidad.

Mano de obra: Personal necesario en la construcción y habilitación general. Resumiendo esta parte, incluimos el personal de montaje en sitio.

Costos indirectos: Son todos los costos que se generan al realizar cualquier trabajo (comunicaciones, servicios, combustible y muchos otros).

Financiamiento: Factor de costo de capital invertido antes de recibir el pago final o avance de trabajo.

Utilidad esperada: Factor de ganancia esperada en una obra o trabajo realizado.

El factor de costo total no es muy diferente de la cantidad calculada de casi tres millones de pesos como se describirá en la sección de resultados y conclusiones, en la cual justificamos de forma práctica el costo del equipo antes de su manufactura.

Un equipo económico que sirva para ayudar a los sistemas de fundición para su alimentación con materia prima fundible con una viabilidad comprobada para su construcción fue la base principal para el desarrollo del presente trabajo. A lo largo de los cinco capítulos

hemos descrito un poco a cerca de la historia de las baterías ácidas de plomo desde las primeras baterías hasta su desarrollo actual, describimos detalladamente la situación que impera en

RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Un equipo económico que sirva para ayudar a los sistemas de fundición para su alimentación con materia prima fundible con una viabilidad comprobada para su construcción fue la base principal para el desarrollo del presente trabajo. A lo largo de los cinco capítulos hemos descrito un poco a cerca de la historia de las baterías ácidas de plomo desde las primeras baterías hasta su desarrollo actual, describimos detalladamente la situación que impera en nuestro país ante la falta de tecnologías adecuadas para el reciclaje óptimo de este tipo de desechos peligrosos, en donde muchos recicladores (recuperadores de plomo informal en este caso) producen contaminantes terribles para el medio ambiente.

Se demostró la necesidad de construir y diseñar un sistema de cargas de materiales para los hornos de fundición a partir de la detección de la necesidad en planta, de donde se deriva la presente propuesta, de igual forma; se ha presentado la viabilidad económica justificando el diseño y la construcción del mismo. El alcance dentro del mismo capítulo se ha cumplido tomando en cuenta todos los requerimientos del cliente y del proceso hasta las condiciones de espacio y maniobrabilidad del equipo propuesto. Dentro del estudio de mercado de equipos especiales, se descartaron los equipos de manufactura extranjera por los altos costos involucrados y la limitación en el intercambio de piezas especiales. Nuestro trabajo logró desarrollar un equipo con partes nacionales y no complicadas de fácil remplazo y económicas de manera práctica. Este trabajo derivará en el incremento de seguridad en el manejo de estos materiales para evitar daños a los trabajadores y al medio ambiente, aún más, es importante decir que económicamente hablando, el equipo arrojará beneficios pingües a la empresa con la mejora y competitividad que esta propuesta aportará a corto plazo.

El uso de una metodología como “diseño para seis sigma (DFSS)” nos ayudó a completar este objetivo, alcanzando a cubrir los requerimientos especiales desde la definición, análisis, diseño y mejora del equipo. Una ventaja adicional de esta metodología concluyó en la mejora y definición de piezas de intercambio común en el diseño final. Siempre enfocados en la reducción de partes de componentes, hemos logrado un equipo versátil, estético y a la vez funcional.

Es común que al empezar cualquier diseño, derivado de la experiencia o de las necesidades específicas de la organización, nos encontremos con infinidad de problemas para sortear y resolver, presentándose retos para el diseñador en la búsqueda continúa de nuevos prototipos para modelar, de tal suerte, que se requieren herramientas especiales para cumplir este objetivo. Solidworks es una herramienta poderosa para el análisis, diseño, simulación y modelado de cualquier equipo propuesto, con herramientas amplias para el intercambio de información y control de listas de partes para manufactura y producción. Nos permitió diseñar, simular y modelar el equipo en las condiciones reales de carga antes de la manufactura preliminar. La interrelación que guarda un sistema de modelado con el diseño es impresionante pues este mismo software iteró las condiciones resultantes del equipo en el ambiente de trabajo derivado del alcance de la propuesta.

El diseño por elementos finitos es una herramienta matemática sin igual de amplio uso en la industria, en donde muchos diseñadores como nosotros prueban sus modelos de equipos antes de sacarlos al mercado, lo que se traducen en ahorro, tiempo de ejecución y ventaja competitiva en el medio. La integración de estas ventajas junto con el diseño nos permitió ser más competitivos en el diseño de nuevos productos pues hoy día, los nuevos diseños o sistemas que se proponen parten del análisis previo a los requerimientos del cliente persiguiendo precio, inversión, facilidad de intercambio de partes y estética.

El presente trabajo concluye, que tomando en consideración: a) La voz del cliente, b) los requerimientos de funcionalidad y c) los materiales y disponibilidad de partes en el mercado nacional podemos entender mejor las condiciones empresariales de cada una de las limitantes que pudiéramos tener en el éxito de nuestro producto, y para asegurar aún más el éxito que se espera en la conceptualización y manufactura de un nuevo equipo; debemos utilizar las herramientas de diseño disponibles para justificar la operación, economía y seguridad de la maquinaria diseñada.

Al modelar la unidad en solidworks, los resultados encontrados nos determinan los valores con los cuales el equipo operará con seguridad, si bien es importante determinar los esfuerzos y desplazamientos incurridos en los cálculos del software de solidworks, en la práctica

es conveniente transformar estos valores en términos de ¿qué tan seguro es el equipo?, los estándares de operación en los sistemas estructurales así como en los de construcción en las normas locales (reglamento de construcción del Distrito Federal) enfatizan el valor de seguridad antes que el de practicidad, hay una estrecha relación entre todos estos valores, pero al final al presentar un proyecto es frecuente escuchar que la pieza que va a diseñarse va a soportar o trabajar con un nivel de seguridad calculado, la pregunta obligada sería: ¿qué tan seguro será en relación al factor de seguridad?.

El equipo diseñado, no se parece a alguno en especial dentro del mercado, la empresa tiene los derechos de patente sobre este equipo, mismos que se han empezado a tramitar ante el Instituto Mexicano de la Propiedad Intelectual, de hecho el equipo ya se encuentra en construcción y un segundo equipo en escala diferente se empezará a fabricar en una planta hermana en Canadá. Lo anterior es un ejemplo claro de las oportunidades de mercado que se pueden encontrar ante un nuevo proceso industrial que bien vale la pena explotar en beneficio de la organización.

Hablando de costos, el equipo diseñado cumple finalmente con el propósito de la tesis, el equipo más cercano pesaba alrededor de 15,742 kg de peso normal, nuestro equipo pesa calculando las densidades de material aproximadamente 5,200 kg, con lo cual podemos ver de antemano que es una tercera parte del peso del equipo cotizado originalmente. Comúnmente observamos que el precio por kilogramo de metal que impera en el mercado para instalaciones y paileria se cobra a razón de precio por kilogramo del metal por factor de 2.5 a 3, esto quiere decir que si el equipo cuesta alrededor de \$187.5 mxp/kg en lámina de acero inoxidable 316L, obtendremos tomando un factor de 3:

$$\text{Precio real de equipo} = \text{Precio metal promedio (mxp/kg)} * 3 * \text{peso equipo (kg)}$$

$$\text{Precio real del equipo} = \$ 187.5 \text{ mxp} * 3 * 5,200 = \$ 2,920,320 \text{ mxp.}$$

Estos nos permite justificar el objetivo del precio de construcción y habilitación del equipo, en términos normales un equipo sin motores y conexiones eléctricas especiales se cotiza a razón de 2.1 veces más como factor cuando el peso del equipo no rebasa los 3,000 kg.

Si hiciéramos el mismo ejemplo con el equipo similar, obtendríamos un costo aproximado de 9 millones de pesos más fletes e impuestos de importación. La realidad en precio haría que nos costara hasta 12 millones de pesos y 8 meses de entrega en términos generales.

El modelado del equipo se anexa en un CD en donde se integran las partes principales de la unidad para ver las condiciones de funcionalidad y trabajo de cada uno de los componentes.

RECOMENDACIONES PARA TRABAJOS FUTUROS

El equipo en principio fue diseñado para ensamble en sitio, pero sin embargo puede rediseñarse para su comercialización en escala, esto quiere decir que en lugar de presentar elementos soldables estos podrían ser atornillables facilitando el traslado del equipo y su posterior ensamble en cualquier lugar. Un segundo equipo en desarrollo se estará adaptando a estas condiciones para su mejora en otra planta similar.

Los elementos de control del cargador hacen que esta sea semi automática, pero se está proponiendo que el manejo del equipo en general sea automático con mando a distancia vía radio, lo cual facilitaría el manejo a futuro y generaría mayor seguridad al operador de maniobras.

Los elementos rodantes sobre los cuales se traslada el equipo solamente proporcionan la tierra física del sistema para cerrar el circuito pero el brazo telescópico sirve para la alimentación eléctrica del cargador, esto presume una desventaja en sistemas en donde se pueden construir y colocar los rieles de traslado, ya que uno de ellos puede mandar la energía a 220 VCA y el otro cerrar el circuito para el voltaje y solamente se cambiaría la configuración de una rueda. Se propone en el siguiente equipo crear las dos alternativas de diseño eléctrico de acuerdo a las necesidades del cliente, así que podría ser alimentación aérea o por tierra.

Conversando con un cliente de una empresa minera en Europa, comentaba si a este equipo se le podría adicionar un sistema de perforación de roca para extraer minerales a nivel horizontal facilitando la creación de túneles de ventilación, la respuesta fue afirmativa. Una propuesta más evolucionada podría ser la incorporación de una perforadora Caterpillar horizontal hidráulica en uno de los extremos a beneficio del cliente.

Las aplicaciones de este equipo son vastas y sin limitaciones. Una recomendación al respecto será la de dar versatilidad para el montaje de componentes periféricos (equipos de perforación, taladrado, manejo de residuos peligrosos entre otros) que pueden ser adaptables y aumentar las posibilidades de aplicación.

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Proyección a 2015 del número de vehículos y de las toneladas de baterías usadas generadas anualmente en el país.

Figura 1.2 Perspectiva del equipo propuesto

Figura 2.1 Partes básicas de una batería.^c

Fig. 2.2 Detalle interior de una batería.²²

Fig. 2.3 Alimentador electromecánico.

Fig. 2.4 Alimentador teleférico.

Fig. 2.5 Alimentador vibratorio²³

Figura 3.1 Fases de la Metodología DMAIC contra DFSS.²⁴

Figura 3.2 Descripción del proceso de trituración²⁵.

Figura 3.3 Área de desulfurización de la pasta de plomo y producción de sulfato de sodio²⁶.

Figura 3.4 Sistema de refinación y lingoteado.²⁷

Figura 3.5 Diagrama ^{xi} del proceso de reciclado de baterías ácidas de plomo de desecho²⁸.

Figura 3.6 Diagrama del proceso de fusión de material²⁹

Figura 3.7 Diagrama del proceso de fusión de material³⁰

Figura 3.8 Contacto de materiales en el diseño de equipo³¹

Figura 3.9 Área de preparación de cargas y fundición.

Figura 3.10 Medidas de área de trabajo y equipo.

Figura 3.11 Propuesta de diseño de equipo cargador de fusión (modelado en solidworks)^{xii}

Figura 3.12 Movimiento en rieles superiores (modelado en solidworks).

Figura 3.13 Movimiento en rieles inferiores (modelado en solidworks).

Figura 3.14 Detalle del Transportador Sinfín (modelado en solidworks).

Figura 3.15 Detalle del sistema de censado de carga.

Figura 3.16 Detalle del sistema de alimentación (modelado en solidworks).

Figura 3.17 Detalle de Sistema de Tolvas (modelado en solidworks).

Figura 3.18 Detalle de sistema de marcos, chumaceras y rieles (modelado en solidworks).

^{xi} Descripción: 60'/100%, Significa 60 minutos de tiempo de paro en el proceso al 100% de capacidad de operación.

^{xii} Nota, todos los modelos son elaborado por el Ing. Ricardo García en el software "solid works" 2010 bajo derechos corporativos registrados.

Figura 3.19 Equipo propuesto (modelado en solidworks).

Figura 3.20 Equipo propuesto (modelado en solidworks).

Figura 3.21 Ensamble de tolva superior.

Figura 3.22 Despiece de ensamble.

Figura 3.23 Soporte acoplador de tolva superior

Figura 3.24 Tolva superior y despiece de ensamble.

Figura 3.25 Resorte amortiguador de carga.

Figura 3.26 Celda de carga.

Figura 3.27 Columna de carga.

Figura 3.28 Motor y alimentador sinfín de material.

Figura 3.29 Marco inferior de carga y rodamientos.

Figura 4.1 Diagrama general de cuerpo libre del cargador de material.

Figura 4.2 Ejemplo de mallado en pieza.

Figura 4.2a Ejemplo de falla. Buque tanque T-2 "S.S. Schenectady", partido en dos en el muelle para la instalación final de accesorios, Portland, Oregon. 16 de enero de 1943. (Cortesía de *Ship Structures Com-mitee*, U.S. Government.)

Figura 4.2b Ilustración general de la teoría.

Figura 4.3 Diagrama para la iteración del producto.

Figura 4.4 Detalle de ensamble de tolvas (unidades en centímetros).

Figura 4.4 Detalle de ensamble de tolvas (unidades en centímetros).

Figura 4.5 Detalles de tolvas (acotaciones en centímetros).

Figura 4.6 Niveles de presión en tolvas.

Fig. 4.7 Distribución de presión del material dentro de la tolva contenedora.

Fig. 4.8 Identificación de elementos de la tolva superior (tolva 1).

Fig. 4.9 Restricciones para análisis de tolva superior.

Fig. 4.10 Mallado de tolva.

Fig. 4.11 Esfuerzos de Von Mises (Kgf/cm^2).

Fig. 4.12 Esfuerzos de Von Mises (identificación de algunos valores).

Fig. 4.13a Desplazamientos mecánicos (expresados en mm. con valores de frontera)

Fig. 4.13b Desplazamientos mecánicos (expresados en mm. con valores de frontera)

Fig. 4.14 Distribución de factor de seguridad en la tolva superior y nodos representativos.

Fig. 4.15 Tolva inferior (Detalles de ensamble).

Fig. 4.16 Restricciones de tolva para modelado.

Fig. 4.17 Restricciones de tolva y mallado.

Fig. 4.18a Esfuerzos de Von Misses en la tolva superior.

Fig. 4.18b Esfuerzos de Von Misses en la tolva superior.

Fig. 4.19a Desplazamientos por efecto de las cargas en milímetros.

Fig. 4.19b Desplazamientos por efecto de las cargas en milímetros (continuación).

Fig. 4.20a Distribución de factor de seguridad en la tolva inferior.

Fig. 4.20b Distribución de factor de seguridad en la tolva inferior (continuación).

Fig. 4.21 Soporte de tolva.

Fig. 4.22 Restricciones para el modelado del soporte.

Fig. 4.23 Mallado de pieza.

Fig. 4.24 Distribución de esfuerzos de Von Misses dentro del soporte.

Fig. 4.24 Distribución de esfuerzos de Von Misses dentro del soporte (continuación).

Fig. 4.25 Distribución de desplazamientos del soporte en milímetros.

Fig. 4.25 Distribución de desplazamientos del soporte en milímetros (continuación).

Fig. 4.26 Distribución de factor de seguridad en el soporte.

Fig. 4.27 Tapa mostrando la distribución de cargas y restricciones para el modelado.

Fig. 4.28 Tapa mostrando el mallado de la pieza.

Fig. 4.29 Esfuerzos de Von Misses en la pieza.

Fig. 4.30 Deformación de la pieza modelada.

Fig. 4.31 Distribución del factor de seguridad.

Fig. 4.32 Mallado de columna.

Fig. 4.33 Esfuerzos de Von Misses en la columna de carga.

Fig. 4.34 Distribución de los desplazamientos en la columna

Fig. 4.35 Distribución del factor de seguridad en la columna.

Fig. 4.36 Iteración de la pieza con aplicación de cargas.

Fig. 4.37 Mallado de la pieza en conjunto con la aplicación de las cargas.

Fig. 4.38 Esfuerzo de Von Mises en el conjunto.

Fig. 4.39 Desplazamiento en la pieza (mm).

Fig. 4.40 Factor de seguridad de la unidad

Fig. 4.41 Chumacera de carga, identificación.

Fig. 4.42 Mallado de elementos y tabla de datos de mallado.

Fig. 4.43 Esfuerzos de Von Mises.

Fig. 4.44 Desplazamientos en la pieza

Fig. 4.45 Distribución de factor de seguridad en la pieza.

Fig. 4.46 Aplicación de cargas en el perno y la rueda de carga.

Fig. 4.47 Distribución de mallado en la pieza.

Fig. 4.48 Distribución de esfuerzos de Von Mises.

Fig. 4.49 Distribución de desplazamientos en la pieza.

Fig. 4.49 Distribución de desplazamientos en la pieza.

Fig. 4.50 Distribución de factor de seguridad en la pieza.

Fig. 5.1 Despiece general de la unidad cargadora de material.

Fig. 5.2 Despiece general de la unidad cargadora de material (continuación).

Fig. 5.3 Despiece general de la unidad cargadora de material (detalle de ensamble).

Fig. 5.4 Despiece general de la unidad cargadora de material (detalle de ensamble).

Fig. 5.5 Despiece general de la unidad cargadora de material (detalle de ensamble).

Fig. 5.6 Despiece general del aero charger. Ensamble de unidad.

Fig. 5.7 Despiece general de la tolva superior.

Fig. 5.8 Despiece general de la tolva superior (continuación).

Fig. 5.9 Despiece general de la tolva superior (continuación).

Fig. 5.10 Despiece general de la tolva superior (continuación).

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Límites de exposición de los trabajadores al plomo y sus compuestos (NOM-010-STPS-1999, edición 1999).

Tabla 1.2 Límites de categoría de carcinogenicidad del plomo y sus compuestos (NOM-010-STPS-1999, edición 1999)

Tabla 1.3 Análisis de costo de operación.

Tabla 1.4 Análisis de rentabilidad (sección a).

Tabla 1.4 Análisis de rentabilidad (sección b, continuación).

Tabla 1.5 Aplicación de la metodología DFSS en el desarrollo de la tesis^{xiii}.

Tabla 2.1 Composición típica en peso de una batería³².

Tabla. 3.1 Ejemplos de interpretaciones Seis Sigma³³.

Tabla. 3.2 Acero inoxidable AISI 316L (X2CrNiMo 12-12-12 según 1.4404, tomado del Manual del diseño para acero inoxidable estructural, 3ra Edición, 2006 Euro Inox & Steel Construction Institute, página 23).

Tabla. 3.3 Designaciones y equivalencias de materiales de acero inoxidable AISI 316L (X2CrNiMo 12-12-12 según 1.4404, tomado del Manual del diseño para acero inoxidable estructural, 3ra Edición, 2006 Euro Inox & Steel Construction Institute, página 126).

Tabla. 3.4 Resistencia química de los metales (Manual de recipientes a presión. Diseño y cálculo, por Eugene F. Megyesy, Ed. LIMUSA, Gpo. Noriega Editores. Página 197)

Tabla 4.1 Resultados de mallado de tolva superior.

Tabla 4.2 Resultados de mallado de tolva superior.

Tabla 4.3 Mallado de soporte y datos.

Tabla. 4.4 Mallado de pieza y datos de mallado

Tabla 5.1 Análisis de costos unitarios unidad cargadora de material.

^{xiii} Aplicación de la metodología DFSS, adaptación por Ing. Ricardo García Hernández

BIBLIOGRAFIA

Libros y manuales consultados

(1): Industrias Peñoles, S.A. de C.V, Manual para el manejo ambientalmente responsable del plomo, Diseño a cargo de SIGNI, S.C.; impresión hecha en Servicios Profesionales de Impresión, S.A. de C.V, páginas 9-12.

(2): NOM-010-STPS-1999. Guide to Occupational Exposure Values. ACGIH, 2001. a) PELs: Permissible Exposure Limits (Límites Permisibles de Exposición), b) TLVs: Threshold Limit Value (Valor de Umbral Límite), c) RELs: Recommended Exposure Limits (Límites de Exposición Recomendados), d) LMPE-PPT: Límite Máximo Permissible de Exposición Promedio Ponderado en Tiempo. Para el caso del plomo la STPS lo considera como: plomo, polvos inorgánicos, humos y polvos (como Pb), e) TWA: Time weighted average exposure concentration (Concentración de Exposición Promedio Ponderado en Tiempo) para un día de trabajo convencional de 8 horas (TLV, PEL) o hasta 10 horas (REL) y una semana de trabajo de 40 horas, f) Se incluyen dentro de la categoría del Plomo y los compuestos inorgánicos, g) Guide to Occupational Exposure Values 2001, compiled by ACGIH Worldwide, h) Material Safety Data Sheet of Chemicals Products.

(3):NOM-010-STPS-199, Material Safety Data Sheet of Chemicals Products, 1* Número de las Naciones Unidas.

A3: Clasificación de la STPS, definida como Carcinógeno en animales. La STPS lo considera como: plomo, polvos inorgánicos, humos y polvos (como Pb).

EPA-A: Carcinógeno humano. Evidencia suficiente de estudios epidemiológicos para apoyar una asociación causal entre la exposición y el cáncer.

EPA-B2: Posible carcinógeno humano. Suficiente evidencia de estudios animales, evidencia inadecuada de estudios epidemiológicos.

IARC: International Agency for Research on Cancer (Agencia Internacional para Investigación sobre el Cáncer)

IARC-1: Carcinógeno humano. Las circunstancias de exposición implican exposiciones que son carcinogénicas a seres humanos. Esta categoría es usada cuando hay suficiente evidencia de carcinogenicidad a seres humanos. Excepcionalmente, un agente puede ser colocado en esta categoría cuando la evidencia en humanos no es suficiente pero hay suficiente evidencia de carcinogenicidad en animales experimentales y fuerte evidencia en seres humanos expuestos, que el agente actúa a través de un mecanismo relevante de carcinogenicidad.

IARC-2B: Posible carcinógeno humano. Las circunstancias de la exposición implican exposiciones que son posiblemente carcinógenas a humanos. Esta categoría es usada para agentes, mezclas, y circunstancias de exposición para las cuales hay evidencia limitada de carcinogenicidad en seres humanos y menos que suficiente evidencia en animales de

laboratorio. También puede ser usada cuando la evidencia de carcinogenicidad es inadecuada pero hay suficiente evidencia en animales.

IARC-3: Inclasificable como carcinógeno en humanos. Esta categoría es usada más comúnmente para agentes, mezclas y circunstancias de exposición para las cuales la evidencia Guide to Occupational Exposure Values, ACGIH, 2001

(4): Anémones des Chemin. Directrices técnicas para el manejo racionalmente ambiental de los acumuladores de plomo de desecho, páginas 8 y 9. Secretaría del Convenio de Basilea, Casa Internacional del Medio Ambiente, 15, CH-1219 Châtelaine, Suiza.

(5): Florez Walter, Canagua Hugo, Mamani Edilberto, Reciclaje de baterías usadas de plomo para su aplicación en la enseñanza de química en la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohman de Tacna, Universidad Nacional Jorge Basadre Grohman de Tacna, Pág.9

(6): Florez Walter, Canagua Hugo, Mamani Edilberto, Reciclaje de baterías usadas de plomo para su aplicación en la enseñanza de química en la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohman de Tacna, Universidad Nacional Jorge Basadre Grohman de Tacna, Pág.15

(7): Bulgary Lughor, Transportation & feeder equipments. Catalogue pages 91-93

(8): Empresas Versatec IMSA, Manual de formadores Seis Sigma, , División Aluminio, página 33.

(9): Empresas Versatec IMSA, Manual de formadores Seis Sigma, División Aluminio, página 38.

(10): García Ricardo, Diagrama de flujo del proceso de trituración de la planta recicladora de baterías ácidas de plomo usadas. Manual de procesos, empresa recicladora.

(11): García Ricardo, diagrama de flujo del proceso de desulfurización de la pasta y producción de sulfato de sodio de la planta de reciclado de baterías ácidas de plomo usadas. Manual de procesos, empresa recicladora.

(12): García Ricardo, Lingoteado de material. Proceso de recuperación de plomo a partir de baterías ácidas de plomo usadas. Manual de procesos, empresa recicladora. Página 28.

(13): García Ricardo, Lingoteado de material. Proceso de recuperación de plomo a partir de baterías ácidas de plomo usadas, análisis del proceso. Manual de procesos, empresa recicladora. Página 66.

(14): García Ricardo , lingoteado de material. Proceso de recuperación de plomo a partir de baterías ácidas de plomo usadas. Análisis del proceso. Manual de procesos, empresa recicladora. Página 45.

(15): García Ricardo, lingoteado de material. Proceso de recuperación de plomo a partir de baterías ácidas de plomo usadas. Análisis del proceso. Manual de procesos, empresa recicladora. Páginas 45-55.

(16): García Ricardo, diseño conceptual del equipo. Proceso de recuperación de plomo a partir de baterías ácidas de plomo usadas. Manual de procesos, empresa recicladora. Páginas 14-18.

(17): Steel Construction Institute, manual del diseño para acero inoxidable estructural, 3ra Edición, 2006 Euro, página 22.

(18): K Frank, D. Mechanical engineering handbook, elements of the design of the process, página 1625. Ed. CRC Base. 1999.

(19): Juvinal, Robert C, fundamentos de diseño para Ingeniería Mecánica, editorial: Limusa. Páginas de referencia: 193 a 195.

(20): Juvinal, Robert C, fundamentos de diseño para Ingeniería Mecánica, editorial: Limusa. Páginas de referencia y consulta: 200 a 203.

(21): Juvinal, Robert C, fundamentos de diseño para Ingeniería Mecánica, editorial: Limusa. Páginas de referencia: 207 a 210.

(22): Florez Walter, Canagua Hugo, Mamani Edilberto, reciclaje de baterías usadas de plomo para su aplicación en la enseñanza de química en la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohman de Tacna. (Walter Florez, Hugo Canahua, Edilberto Mamani), Universidad Nacional Jorge Basadre Grohman de Tacna, Pág.15

(23): Lughor Bulgary, Transportation & feeder equipments. Catalogue pages 91-93

(24): Empresas Versatec IMSA, manual de formadores seis sigma, IMSA, División Aluminio, página 38.

(25): García Ricardo, diagrama de flujo del proceso de trituración de la empresa recicladora. Página 51.

(26): García Ricardo, diagrama de flujo del proceso de desulfurización de la pasta y producción de sulfato de sodio de la empresa recicladora. Página 49.

(27): García Ricardo, lingoteado de material. Proceso de recuperación de plomo a partir de baterías ácidas de plomo usadas. Manual interno del proceso de la empresa recicladora. Página 112.

(28): García Ricardo, lingoteado de material. Proceso de recuperación de plomo a partir de baterías ácidas de plomo usadas, Análisis del proceso. Manual interno del proceso de la empresa recicladora. Página 69.

(29): García Ricardo, lingoteado de material. Proceso de recuperación de plomo a partir de baterías ácidas de plomo usadas, Análisis del proceso. Manual interno del proceso de la empresa recicladora. Sección 2. Páginas 45 y 60.

(30): García Ricardo, lingoteado de material,. Proceso de recuperación de plomo a partir de baterías ácidas de plomo usadas, Análisis del proceso. Manual interno del proceso de la empresa recicladora. sección 4B, Página 19-4B.

(31): García Ricardo, diseño conceptual del equipo. Proceso de recuperación de plomo a partir de baterías ácidas de plomo usadas. Página 70.

(32): Florez Walter, Canagua Hugo, Mamani Edilberto , reciclaje de baterías usadas de plomo para su aplicación en la enseñanza de química en la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohman de Tacna. Universidad Nacional Jorge Basadre Grohman de Tacna, Pág.9

(33): Empresa Versatec IMSA, manual de formadores Seis Sigma, División Aluminio, página 33.

Páginas web.

a):http://www.unicrom.com/Art_historia_bateria.asp, consultada el 17 de Septiembre del 2009.

b):http://127.0.0.1:51898/Archivo%20traducido%20por%20SYSTRAN%20v6?r=fb8ba58f-72a1-413f-833c-5105e78e1f34&n=__&lp=en_es, consultada el 18 Noviembre del 2009.

c): <http://www.autobaterias.com.mx>, consultada el 20 de Enero del 2010.

d):http://es.wikipedia.org/wiki/Bater%C3%ADa_el%C3%A9ctrica#Principios_de_funcionamiento, consultada el 15 de Junio del 2010.

e):<http://www.ilmc.org/spanish/Manual%20para%20el%20Manejo%20Ambientalmente%20Responsable%20del%20Plomo.pdf>, consultada el 17 Febrero del 2010.

f):www.ilmc.org/spanish/Manual%20para%20el%20Manejo%20Ambientalmente%20Responsable%20del%20Plomo.pdf, consultada el 17 Febrero del 2010.

g):http://www.urbar.com/es/aplicaciones/e_alimentadores_cau_med.htm Catálogo página 3., consultada el 17 Febrero del 2010.

h):http://www.urbar.com/es/aplicaciones/e_alimentadores_cau_med.htm Catálogo página 11, consultada el 17 Febrero del 2010.

i):<http://www.dtic.mil/ndia/2003test/kiemele.pdf>, page 27. Consultado en Agosto del 2010.

j):http://www.nikhef.nl/pub/departments/mt/projects/lhcb-vertex/calculations/VESSEL/NIKHEF_316L_version3.pdf, consultada en Febrero del 2010.

k):http://es.wikipedia.org/wiki/M%C3%A9todo_de_los_elementos_finitos, consultada en Febrero del 2010.

l):http://www.urbar.com/es/aplicaciones/e_alimentadores_cau_med.htm Catálogo página 3, consultado Enero del 2010.