



**UNIVERSIDAD DE GRANMA**  
**Facultad de Ingeniería**  
**Dpto. de Ciencias Técnicas**



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**  
**Unidad Académica de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas**  
**Sede Latacunga**

# ***Trabajo de Diploma***

***En opción al título de Ingeniero Electromecánico***

**TÍTULO: DISEÑO Y ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE UN PROTOTIPO  
DE COMPACTADORA DE CHATARRAS DE ALUMINIO PARA EL  
RECICLAJE.**

**DIPLOMANTE:** Carlos Daniel Cunalata Licto.

**TUTOR:** MsC. Ing. Jorge A. Bosch Cabrera.

**BAYAMO. M.N.**  
**2010-2011**

**“Año de 53 de la Revolución”**

**LATACUNGA-ECUADOR**  
**2010-2011**

**“Por la vinculación de la Universidad con el Pueblo”**



## **Resumen**

En la presente investigación se realizó el diseño y análisis de un prototipo de una máquina compactadora de chatarra de aluminio para contribuir con el reciclaje en las distintas ciudades del Ecuador. Esta investigación inicia con el estudio de las bibliografías con el fin de determinar los parámetros funcionales para el diseño del prototipo. Realizando un estudio sobre el reciclaje en general, sobre el reciclaje de los metales, reciclaje del aluminio y sus ventajas, un estudio acerca de las compactadoras y de los tipos que existen en el mercado, sobre el diseño, se realizó una introducción al método de elementos finitos, su historia, conceptos generales, se hizo un análisis del Cosmos Works, conceptos básicos de análisis, un estudio acerca de los softwares CAD en especial acerca del Solid Works, también sobre las propiedades de los metales. Luego se analizan los procedimientos para el diseño del prototipo de la compactadora de chatarra de aluminio para después describir cada uno de los procedimientos que se realizaron para el diseño y el análisis del prototipo de compactadora de chatarra de aluminio, se describe cada una de las partes que conforman la compactadora, se analizan los resultados del estudio estático que se realizó al pistón y a la compactadora ya ensamblada.

**Palabras claves:** Diseño de compactadora, chatarra de aluminio.

## **Abstrac**

In the present investigation realize the design and analyses of a prototype of a machine compact scrap-iron of aluminium for contribute with the recycling in the different city of Equator. The investigation begin with the study of the bibliography with the end of determine the parameter for the design from the prototype. Realize a study the recycling, the recycling of the metals, the recycling of aluminium and vantage, a study about of the compact and of the types, the design, realize an introduction the method of element finite, history, concept general, analysis from Cosmos Works, concept basic of analysis, an study about of the CAD software's in special about from Solid Works, also the property of the metals. After analyse the proceedings for the design from prototype of a machine compact scrap-iron of aluminium, describe each an of the parts of the compact, analyse the results from study static that realize the piston and the compact assemble.

**Key Words**: design compact, scrap-iron of aluminium.

# AGRADECIMIENTO

---

*A Dios.*

*A mi papá y mamá.*

*A mi hermano.*

*A mi prima Mariana.*

*A toda mi familia en general.*

*A mis profesores de la Universidad Técnica de Cotopaxi.*

*Al MsC. Ing. Jorge A. Bosch Cabrera por su colaboración en el desarrollo del Trabajo de Diplomado.*

*A la Universidad de Granma y a la República de Cuba por haberme recibido para culminar con mis estudios.*

*A mis amigos y compañeros de aula.*

*A todas las personas que me ayudaron para poder culminar mi carrera.*

*Carlos Daniel Cunalata Licto*

# DEDICATORIA

---

*Este trabajo se lo dedico a Dios por darme la salud para poder culminar con mis estudios luego a mis padres quienes desde pequeño me orientaron de la manera más correcta y con su amor, esfuerzo, sacrificio, comprensión y apoyo han hecho de mi lo que hoy soy, un hombre útil a la sociedad gracias por educarme queridos padres.*

*A mi abuelita Hortencia que cuida mis pasos desde el cielo.*

*A mis tíos, tías, primos y demás familiares que de una u otra manera me ayudaron para salir adelante en mis estudios.*

*Un agradecimiento a la Universidad de Granma de la República de Cuba que conjuntamente con nuestra Alma Mater la Universidad Técnica de Cotopaxi por ser como nuestro segundo hogar e instruirnos de conocimientos para desarrollarnos mejor en nuestra vida profesional.*

*Gracias a mi tutor de tesis MsC. Ing. Jorge A. Bosch Cabrera quien con su calidad como profesor ha sabido llevar a cabo con profesionalidad y calidad humana la terminación teórica como práctica de mi trabajo de diploma con sus enseñanzas y experiencia laboral.*

*Carlos Daniel Cunalata Licto*

## INDICE

<b>INTRODUCCION</b> .....	1
<b>CAPITULO I – ANTECEDENTES Y ESTADO ACTUAL DEL RECICLAJE Y LAS COMPACTADORAS DE METALES NO FERROSOS</b> .....	15
1.1- Reciclaje .....	15
1.1.1- Reciclabilidad.....	16
1.2.- Reciclaje de metales.....	17
1.3.- Reciclaje de aluminio .....	19
1.3.1- Ventajas.....	20
1.4- Compactadoras para metales.....	21
1.5- Tipos de compactadoras .....	24
1.6- Diseño .....	25
1.7- Diseño de compactadoras .....	27
1.8- introducción al método de los elementos finitos (MEF) .....	28
1.8.1- Breve historia del método de los elementos finitos.....	30
1.8.2- Conceptos generales del método .....	31
1.9- Introducción a los softwares CAD.....	32
1.10- Solid Works.....	33
1.11- Análisis del Cosmos Works .....	34
1.12- Conceptos básicos de Análisis. ....	35
1.13- Propiedades de los materiales.....	36
<b>CAPÍTULO II: MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	38
2.1- Procedimiento para diseñar el prototipo de compactadora de chatarra de Aluminio .....	38
2.2- Estudio de compactadoras con funciones similares. ....	38
2.3.- Modelación de las piezas con sus dimensiones en el Software de diseño CAD. ....	39
2.4- Ensamble del modelo de compactadora.....	39
2.5- Estudio del modelo de prototipo compactadora por el Método de los Elementos Finitos. ....	39
2.6- Asignación de los materiales y sus propiedades a cada modelo de piezas. ....	40
2.7- Asignación de los tipos de contactos entre componentes. ....	40
2.8- Asignación de las cargas y restricciones presentes en los modelos. ....	41

2.9- Mallado de los modelos. ....	42
2.10- Informe de los resultados obtenidos. ....	42
<b>CAPÍTULO III: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS DEL PROTOTIPO DE COMPACTADORA DE CHATARRA DE ALUMINIO.....</b>	<b>43</b>
3.1- Estudio de compactadoras con funciones similares. ....	43
3.2- Modelación de las piezas con sus dimensiones en el Software de diseño CAD. ....	43
3.3- Análisis del ensamble del modelo de prototipo de compactadora. ....	46
3.4- Propiedades físicas y mecánicas de los materiales de cada modelo de pieza. ....	47
3.5- Análisis de los tipos de contactos entre componentes. ....	49
3.6- Análisis de las cargas y restricciones presentes en los modelos.....	49
3.7- Mallado de los modelos. ....	51
3.8- Análisis de los resultados obtenidos.....	52
<b>CONCLUSIONES. ....</b>	<b>62</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>63</b>
<b>BIBLIOGRAFIA. ....</b>	<b>64</b>

## **INTRODUCCION**

**Título: Diseño y análisis estructural de un prototipo de compactadora para chatarras de aluminio para el reciclaje.**

Existe la gran necesidad del desarrollo de un proyecto de reciclaje en ciudades y países, motivo por el cual la presente investigación presenta el diseño de una máquina compactadora de chatarras de aluminio. En el Ecuador existen empresas que se dedican al reciclaje, pero no han desarrollado un proyecto ingenieril de este tipo de máquinas.

Este proyecto nace de la necesidad que se tiene dentro de las pequeñas y medianas empresas recicladoras, ya que se gana en la transportación de la materia prima disminuyendo los costos de traslado y maximizando la cantidad que se transporta a las empresas que requieren de este material (chatarra de aluminio) generando un ahorro en la economía de las empresas.

Las compactadoras de viruta de aluminio que se fabrican en el Ecuador son elaboradas con poca técnica y no poseen un respaldo de cálculos de diseño, planos y tecnología acorde al trabajo que van a realizar, las personas encargadas de la construcción de estos dispositivos utilizan criterios empíricos y por estas razones existen sobre dimensionamientos en las máquinas.

El objetivo primordial de este proyecto consiste en diseñar una maquina compactadora de chatarras de aluminio para la industria del Ecuador, para lo cual se realiza una investigación previa de las necesidades de la industria nacional [14].

La idea de diseñar una compactadora para el reciclaje de chatarras de aluminio surge a raíz de la vitalidad para el proceso de reciclaje que se propone, ya que este metal a pesar de que existe en gran cantidad no se puede acceder a él con facilidad por eso la necesidad de aprovechar al máximo lo que se tiene a nuestro alcance.

Esta máquina deberá cumplir con todas la necesidades pero sin excederlas ya que esto significaría un aumento en el costo de fabricación y operación, también se debe tomar en cuenta la seguridad del operador para el diseño de esta máquina.

Al ser construida esta máquina por la fábrica se puede ajustar a sus capacidades y necesidades. No será necesario hacer una inversión tan fuerte ya que puede llegar a ser muy sencilla. El aluminio al igual que otros metales tanto ferrosos como no ferrosos, el papel, el vidrio y el plástico, es uno de los materiales que más se recicla en la industria debido a su alto precio en el mercado internacional siendo este de \$800 usd por tonelada reciclada [10].

De los metales que existen, la mayoría pueden ser fundidos y volver a procesarse para crear nuevos metales. De los desperdicios que se producen diariamente, el 10% lo constituyen los metales. Los metales reciclables los podemos encontrar en tapas de metal, botones de metal, latas de cervezas y de bebidas, bolsas interiores de cajas de leche de polvo, latas de conservas, pasadores de palos, alfileres, grapas, papel aluminio, alambre, ganchos de ropa, etc.

El producto férreo más común en los desechos domiciliarios son las latas de productos alimenticios. Estas son generalmente latas de atún, salsa de tomate, conservas de frutas y vegetales. Las latas de bebidas no son frecuentemente usadas. Además se encuentran ollas enlozadas, productos usados de ferretería, partes de electrodomésticos y chatarra con procedencia de talleres mecánicos. Los productos de hierro son 100% recuperables y no pierden su calidad o sus características higiénicas con la fundición.

Otros materiales no ferrosos que se encuentran raramente en la basura domiciliaria y aunque se pueden vender a precios elevados no contribuyen mucho a las ganancias de una planta reciclaje, debido al volumen bajo de recuperación son: El vidrio el cual se clasifica de acuerdo a su color, los más comunes son: verde, azul, transparente. El vidrio nuevo es 100% reciclable. El uso de botellas retornables o rellenables ayudan a reducir la contaminación en un 20% [26]. Cada tonelada de vidrio que se recicla ahorra una energía equivalente a 136 litros de petróleo y sustituye a 1,2 toneladas de materias primas como sílice (arena), caliza y ceniza de sosa que se emplean para fabricar vidrio nuevo, siendo la extracción de estos componentes la que además provoca un impacto importante en el paisaje y los ecosistemas. Una cantidad de 3 000 botellas recicladas supone una reducción de unos 1 000 kg de basura y se puede ahorrar hasta un 50% de un recurso tan escaso y valioso como el agua. En 1990 España recicló 304 000 toneladas de vidrio y cerca de 500 000 toneladas en 2000, lo que la situó en el

quinto lugar de la Unión Europea en toneladas de vidrio reciclado, por debajo de Alemania, Francia, Italia y el Reino Unido [23].

Otro material en condiciones similares es el Papel/Cartón. Dentro de los desperdicios se encuentra el papel y el cartón. Si las personas contribuyen al reciclaje de papel y cartón se ahorraría el 33% de energía que se necesita para producirlos. Típicamente son: hojas de papel, cuadernos, desperdicios de papel, cajas de cartón, etiquetas de cartón, periódicos, fotografías, envolturas de papel, revistas papel celofán, tetra pack, invitaciones y otros. La recolección selectiva de papel no sólo puede ayudar a dar alimento a quienes trabajan en su recolección, sino que además se aportan otra serie de beneficios como son la conservación de recursos forestales y con ello contribuye a la reducción de la emisión de gases a la atmosfera [26].

El consumo medio mundial de papel es de unos 36 kg por habitante y año, aunque las cantidades varían según el grado de desarrollo de los países. Si se reciclara la mitad del papel consumido, se podría satisfacer el 75% de las necesidades de fibra para papel nuevo y así se evitaría la destrucción de ocho millones de hectáreas de bosque. Además, por cada tonelada que se recicla de papel se ahorran 100 000 litros de agua, se evita el llenado de 3,57 m<sup>3</sup> de un vertedero, se impide la liberación de 2,5 toneladas de dióxido de carbono a la atmósfera, se salvan 17 árboles y se ahorra suficiente energía para calentar una casa media durante seis meses. Se estima que se recicla, a escala mundial, casi un tercio del papel utilizado, aunque hay países, como México o España, en los que esa cifra asciende hasta casi el 50%, mientras que en otros, como Nigeria o Filipinas, apenas alcanzan un 2 o un 9%, respectivamente [22].

Los productos más comunes de aluminio que se encuentra en la basura domiciliaria son: latas de bebidas (cervezas, limonadas, colas, etc.), ollas y sartenes usados, folio de aluminio, etc.

Además se recicla aluminio grueso, por ejemplo aluminio de construcción, como perfiles de ventanas, puertas, etc., muebles de aluminio, tuberías o partes de automóviles, camionetas o aviones. El aluminio es también uno de los materiales que se pueden reciclar a un 100% sin disminuir su calidad. El reciclaje de aluminio tiene tres ventajas:

- Se reduce considerablemente la cantidad de materia prima. Para la producción de una tonelada de aluminio se necesitan cuatro toneladas de bauxita.
- Con el reciclaje, se reducen también los gastos ambientales y económicos de transporte, energía, agua, etc., vinculados al procesamiento de la bauxita.
- La energía necesaria para el reciclaje del aluminio es solamente un 5% de la energía utilizada para producir aluminio de la materia prima (bauxita) [26].

De lo anteriormente planteado se define como problema científico en cuestión:

### **Problema Científico**

¿Cómo compactar las chatarras de aluminio para su reciclaje y una mejor transportación en la industria ecuatoriana?

Este proceso consiste en compactar la chatarra de aluminio, ya que al ser compactada la materia, se facilita el traslado de una gran cantidad de materia en un menor volumen, de esta manera se reducen los costos del transporte y se obtiene mayores ingresos en este negocio haciéndolo más rentable.

En la actualidad hay un gran porcentaje de empresas que se encargan de reunir mucha materia como es el aluminio para luego venderla a las empresas grandes, pero este negocio es más rentable si se adiciona el proceso de compactado que es para beneficio de la compañía que va a vender el aluminio.

### **Hipótesis:**

Con el compactado de las chatarras de aluminio se puede obtener un traslado de una mayor cantidad de materia prima y se reducen a su vez los costos mejorando el proceso de reciclaje.

### **Objetivo General**

Diseño y análisis estructural de un prototipo de máquina de pequeño porte para compactar chatarras de aluminio en el proceso de reciclaje.

### **Objetivos Específicos:**

- Modelación de las piezas pertenecientes a la máquina compactadora de chatarras de aluminio.
- Ensamble del modelo.
- Análisis estructural de la máquina compactadora con las cargas correspondientes.
- Análisis y evaluación de los resultados finales.

### **Objeto de Investigación.**

Prototipo de máquina para la compactación de chatarras de aluminio en la industria ecuatoriana del reciclaje.

### **Campo de Acción.**

Diseño y análisis estructural de un prototipo de máquina compactadora de chatarras de aluminio de pequeño porte.

### **Tareas de investigación:**

- Diseño gráfico con el paquete CAD Solid Works 2010, de las piezas pertenecientes a al prototipo de compactadora de chatarras de aluminio.
- Ensamblaje del prototipo de compactadora de chatarras de aluminio.
- Introducción de las cargas y propiedades mecánicas a los modelos.
- Análisis y comportamiento por el método de los elementos finitos.
- Elaboración del informe técnico final.

### **Métodos de investigación:**

- Método de modelación:

Método numérico de análisis por elementos finitos y simulación gráfica.

La utilización de paquetes CAD para el análisis tensional-deformacional del modelo de prototipo de compactadora de chatarras de aluminio en la presente investigación permitirán el estudio y su posterior análisis de los resultados expuestos en el informe final.

- Método histórico – lógico.

Se estudian los antecedentes en el tema teniendo en cuenta las investigaciones preliminares y sus respectivos resultados obtenidos reflejándolo en la bibliografía.

- Criterio de experto.

La programación de consultas con expertos en el tema para una correcta proyección de la investigación al aporte de datos a fin.

- Análisis y Síntesis.

La presente investigación se basa en el método de análisis ya que se estudiarán, revisarán y analizarán bibliografías correspondientes al tema, al igual que el software utilizado del que se realizará una síntesis para la elaboración del informe técnico correspondiente.

# **CAPITULO I. – ANTECEDENTES Y ESTADO ACTUAL DEL RECICLAJE Y LAS COMPACTADORAS DE METALES NO FERROSOS.**

## **1.1- Reciclaje**

Reciclaje es el proceso mediante el cual productos de desechos son nuevamente utilizados, como pueden ser: aluminio, vidrio, papel, plástico materia orgánica.

Una definición bastante acertada indica que reciclar es cualquier proceso donde materiales de desperdicio son recolectados y transformados en nuevos materiales que pueden ser utilizados o vendidos como nuevos productos o materias primas. Otra definición puede ser la siguiente: Es un proceso que tiene por objeto la recuperación, de forma directa o indirecta, de los componentes que contiene los residuos urbanos.

Los objetivos del reciclaje son los siguientes:

- Conservación o ahorro de energía.
- Conservación o ahorro de los recursos naturales.
- Disminución del volumen de los residuos que hay que eliminar.
- Protección del medio ambiente.

El reciclaje permite:

- Ahorrar recursos.
- Disminuir la contaminación
- Alargar la vida de los materiales aunque sea con diferentes usos.
- Ahorrar energía.
- Evitar la deforestación.
- Reducir el 80% del espacio que ocupan los desperdicios al convertirse en basura.
- Ayudar a que sea más fácil la recolección de basura.
- Disminuir el pago de impuestos por concepto de recolección de basura.
- Vivir en un mundo más limpio.

### **1.1.1- Reciclabilidad**

La reciclabilidad está en función de algunas características importantes, entre ellas: valor agregado de chatarra (valor de venta), economicidad del proceso de reciclado y aplicabilidad de la materia prima obtenida, tecnología del proceso, técnica de recolección y volumen a ser recuperado [21].

El reciclaje se inscribe en la estrategia de tratamiento de residuos de las Tres R.

*Reducir*, acciones para reducir la producción de objetos susceptibles de convertirse en residuos.

*Reutilizar*, acciones que permiten el volver a usar un producto para darle una segunda vida, con el mismo uso u otro diferente.

*Reciclar*, el conjunto de operaciones de recogida y tratamiento de residuos que permiten reintroducirlos en un ciclo de vida [29].

La mayor parte de los metales que existen pueden fundirse y volver a procesarse creando nuevos metales. Metales como aluminio, plomo, hierro, acero, cobre, plata y oro son reciclados fácilmente cuando no están mezclados con otras sustancias, porque pueden ser fundidos y cambiar de forma o adoptar la misma anterior. De estos materiales, el hierro es el que tiene mayor demanda comercial. El reciclaje del aluminio está incrementándose bastante debido a que una lata, producto de reciclaje, requiere solo una parte de la energía necesaria para elaborar una lata similar con materias primas. Si recuperamos todos estos metales serían una gran fuente de materias primas.

Los yacimientos de donde se extraen industrialmente el metal están siendo poco a poco agotados. En los nuevos yacimientos se debe invertir mayor capital, ya que se encuentran más adentrados en la corteza terrestre y en lugares muy remotos para el centro de producción. El cobre, desde los 80, procede de lugares como Chile, Zambia, Zaire, Papúa, Nueva-Guinea, lugares muy lejanos del centro de producción. En 1990, para obtener los, casi, nueve millones de toneladas de cobre que se produjeron hizo falta extraer y reprocesar 990 toneladas de mineral [25].

## 1.2.- Reciclaje de metales



**Fig. 1.1- Reciclaje del acero**

De los 784 millones de toneladas anuales producidas de acero en el mundo, cerca del 43% es reciclada proveniente de chatarra. Esto equivale al peso de 150 torres Eiffel o 1,2 millones de autos cada día.

En un año normal, la industria mundial del acero a través del reciclado, ahorra el equivalente a la energía requerida para 110 millones de hogares.

El acero es completamente reciclable al final de la vida útil del producto y podría ser reciclado un número ilimitado de veces, sin perder calidad. Un producto de acero puede reciclarse a pesar de su origen. Es el material más reciclado del mundo, siendo reciclado más que el aluminio, el plástico y el vidrio sumados.

El reciclaje de los metales contribuye significativamente a no empeorar la situación actual de contaminación, ya que al reciclar la chatarra se reduce la contaminación del agua, aire y los desechos en un 70%.

Existe en todo el mundo una amplia infraestructura de chatarreros para reciclar acero desde hace ya 100 años. Esta infraestructura industrial, prepara todo tipo de chatarra para suministrarla a las industrias siderúrgicas y fundiciones, las cuales la funden, refinan y convierten en nuevo acero.

Las principales fuentes de chatarra de acero, provienen de obsolescencia de bienes de consumos, como automóviles viejos, electrodomésticos, latas y tanques de acero, construcciones y estructuras antiguas, sin olvidar también, la chatarra proveniente de residuos industriales. La tasa de reciclaje, definida como la relación de la cantidad de chatarra efectivamente reciclada y la cantidad de chatarra producida, es de alrededor de un 80%, en una base global.

El acero se degrada muy poco en los procesos de reciclados, por eso puede reciclarse un gran número de veces, siendo la única limitación el rendimiento del reciclado, el que está determinado por tres factores:

- La efectividad del proceso de recuperación de los usos previos.
- La efectividad del sistema de recolección y selección.
- La efectividad del sistema de recolección y selección.

Los productos de acero tienen una larga duración, es por ello que es un material con una alta demanda, la que no puede ser satisfecha en su totalidad mediante el proceso de reciclaje, es por eso se hace necesario producir nuevo acero como suplemento, a partir de las fuentes primarias de mineral de hierro [28].

Por cada tonelada de acero usado que reciclamos, ahorramos una tonelada y media de mineral de hierro y unos 500 kilogramos de carbón. Si hablamos de energía, el ahorro es del 70%. El agua utilizada se reduce en un 40%.

Las materias primas para la obtención del acero son el hierro, la piedra caliza y el carbón, todos ellos recursos limitados. El acero se utiliza en la construcción, en el sector automovilístico, en aparatos eléctricos y en envases de comida y bebidas.

El 25% de los botes de bebida se fabrican con acero reciclado. Es uno de los metales más utilizados en el mundo y también uno de los que más se han reciclado desde la antigüedad. La sustitución del hierro por chatarra puede ahorrar hasta el 76% de la energía utilizada normalmente.

En la fabricación de 1000 latas de acero se consumen 64 kg, de hierro, 25 kg, de carbón, 0,9 metros cúbicos de agua y se desprenden 171 kg, de dióxido de carbono a la atmósfera.

El reciclaje de 1000 kg (1 tonelada) de latas de acero ahorra 1,36 Toneladas de hierro puro y 3,6 barriles de aceite. Y un ahorro de energía del 76% [1].

### 1.3.- Reciclaje de aluminio



**Fig. 1.2- Reciclaje de aluminio**

El aluminio es el material no férreo de más popularidad en el mundo, en diferentes áreas como el transporte, la alimentación, medicina y en los trabajos de construcción lo utilizan en forma generalizada. Se tiene un cálculo aproximado de que se consumen unos 25 millones de toneladas en todo el mundo por año. Si reciclamos y recolectamos correctamente sus residuos se podrá ahorrar mineral y energía en gran cantidad.

El aluminio esta hecho de bauxita, es un recurso NO RENOVABLE que se extrae de la selva amazónica acabando así con miles de kilómetros de la misma. Para fabricar una sola tonelada de aluminio se debe extraer de una mina de cuatro toneladas de bauxita, durante el procedimiento se producirán casi dos toneladas de "barros rojos" que son (óxidos de hierro, titanio) los cuales tienen una representación muy grave de contaminación en el ambiente.

El proceso de extracción de aluminio requiere de cantidades enormes de energía para lograr separar el aluminio de los óxidos mediante un proceso de electrólisis. Este aluminio se puede RECICLAR una y otra vez sin afectar sus propiedades, y al poner en uso el aluminio reciclado se economiza un 95% de energía que es necesaria para crear las nuevas latas del mismo.

El aluminio es el residuo que presenta una tasa de reciclaje más alta, pues la mayoría de los materiales reciclados compiten con materias primas relativamente baratas, mientras que el aluminio es aún más caro por esa razón es que los mismos productores se encargan de poner en marcha todos los programas de reciclaje, como por ejemplo el reciclaje de latas de refresco.

El aluminio recuperado, una vez seleccionado y prensado se funde y con él se fabrican nuevos lingotes de aluminio que se utilizan para cualquier aplicación [27].

### **1.3.1- Ventajas**

El reciclaje del aluminio generalmente produce unos ahorros importantes en materia económica y energética aun cuando se tienen en cuenta los costos de recogida, separación y reciclaje. A largo plazo, además, se producen ahorros a nivel nacional debido a la reducción del capital necesario para subvencionar los vertederos, las minas y el transporte de la materia prima.

Los beneficios medioambientales de reciclar el aluminio también son grandes. Únicamente se produce el 5% del CO<sub>2</sub> durante el proceso de reciclado comparado con la producción de aluminio desde la materia prima, siendo este un porcentaje aún menor cuando se toma en cuenta el ciclo completo de su extracción en la mina y su transporte hasta la planta de producción. También, la minería a cielo abierto es la más usada a la hora de conseguir minas de aluminio, lo que destruye una gran parte de la tierra natural del planeta. La producción de una lata a partir de aluminio reciclado requiere un 95% menos de energía de la que sería necesaria para hacerla desde materiales vírgenes [24].

El aluminio usado llega principalmente por dos canales: de los desechos del consumo ya sea doméstico o industrial (por ejemplo, cables eléctricos, planchas litográficas, botes de bebidas, otros envases y embalajes, desguace de vehículos, derribos, etc.) y de los recortes y virutas que se producen durante la fabricación de productos de aluminio.



**Fig. 1.3- Virutas de aluminio.**

A la hora de comercializar con el aluminio hay que tener en cuenta los factores que influyen en su precio. El más cotizado será siempre el material más puro, como es el caso del aluminio cable, que contiene un 99,7% de pureza, por lo que se puede destinar para cualquier otro uso. Es decir, cuanto más puro es el material, más salidas puede obtener. El precio está condicionado, además, por los diferentes materiales aleados que contiene la chatarra.

También una parte de aluminio recuperado, en efecto, puede tener revestimientos, lacados, etc., con lo que su precio es más bajo por el efecto de las mermas y por los sofisticados sistemas de filtrado de humos que encarecen el reciclado. También hay que tener en cuenta que el aluminio está sujeto a la cotización de la Bolsa de Metales de Londres o LME y del dólar diariamente.

Este hecho condiciona también el proceso de reciclaje, ya que cuando los precios caen se recupera menos material. En cualquier caso, gracias a que cotiza en Bolsa (LME), el del aluminio es un mercado abierto, por lo que los precios son los mismos en cualquier parte del mundo. Eso sí, la ley de la oferta y la demanda, como en cualquier otro sector, es la que dicta las pautas cada momento [9].

#### **1.4- Compactadoras para metales.**

Los tipos de equipo de compactación utilizados en operaciones de desechos sólidos se pueden clasificar como estacionarios y movibles. Donde los desechos son traídos y cargados en el compactador manual o mecánicamente, el compactador es estacionario. Usando esta definición, el mecanismo de compactación usado para comprimir los desechos en un vehículo de recolección es, en realidad, un compactador estacionario; en contraste, el equipo montado sobre ruedas usado para colocar y compactar desechos sólidos en un relleno sanitario se clasifica como móvil. En la Tabla 1.1 se reportan los tipos y aplicaciones de equipo de compactación usado rutinariamente.

Típicamente, los compactadores estacionarios se pueden describir de acuerdo con su aplicación como son:

- 1) Trabajos ligeros, como los usados en áreas residenciales o de industrias livianas.

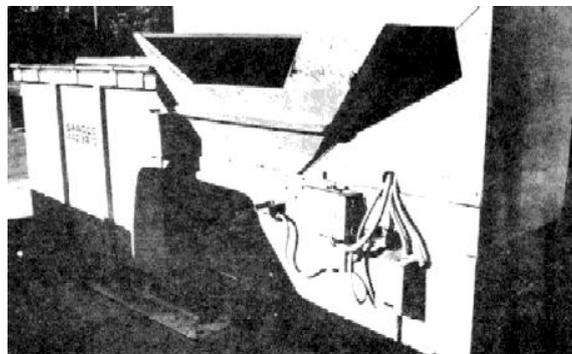
- 2) Comercial o industria liviana.
- 3) Industrial pesada.
- 4) Estación de transferencia.

Los compactadores usados en estaciones de transferencia se pueden dividir de acuerdo a la presión de compactación en: baja presión, menos de 100 lb/pulg<sup>2</sup> (70,310 kg/m<sup>2</sup>); presión alta, más de 100 lb/pulg<sup>2</sup>. En general, todos los compactadores en las de más aplicaciones también serán clasificados como unidades de baja presión.

Donde se usan grandes compactadores estacionarios, los desechos pueden ser comprimidos de las siguientes formas:

- 1) Directamente en el vehículo de transporte.
- 2) En recipientes de acero que pueden ser movidos manual o mecánicamente.
- 3) En cámaras de acero diseñadas especialmente donde el bloque comprimido es atado con cintas u otros medios antes de ser removido, o.
- 4) En cámaras donde son comprimidos en un bloque y luego sacados y acarreados sin atarlos.

Compactación de Baja Presión: Típicamente, los compactadores de baja presión incluyen aquellos usados en apartamentos y establecimientos comerciales, equipo de embalaje usado para papel de desecho y cartón (Vea Figura 1.4), y compactadores estacionarios usados en estaciones de transferencia. Los compactadores estacionarios portátiles están siendo usados cada vez más por un número de industrias junto con operaciones de recuperación de materiales, especialmente para papel de desecho y cartón.



**Fig. 1.4- Compactadora de baja presión.**

Compactación de Alta Presión: Recientemente se han desarrollado un número de sistemas de compactación de alta presión (hasta 5,000 lb/pulg<sup>2</sup>). En la mayoría de

estos sistemas se usa equipo especializado de compactación para producir desechos sólidos comprimidos en bloques o balas de varios tamaños. En un sistema el tamaño del bloque es de alrededor de 1.2m x 1.2m x 0.40m, y la densidad es de alrededor de 950 kg/m<sup>3</sup> a 1.100 kg/m<sup>3</sup>. En otro sistema, los desechos pulverizados son expulsados, después de la compactación, en forma de cilindros de 22 cm de diámetro; las densidades finales alcanzadas con este proceso varían de 950 a 1.010 kg/m<sup>3</sup>. La reducción de volumen obtenida con estos sistemas de compactación de alta presión varia con las características de los desechos; típicamente, la reducción varia de alrededor de 3 a 1 hasta 8 a 1.

**Tabla 1.1- Equipo de Compactación Usado para Reducción de Volumen [32].**

Localización u operación	Tipo de compactador	Observaciones
Puntos de producción de desechos sólidos	Estacionario/residencial vertical	Pistón vertical de compactación; puede ser operado mecánica o hidráulicamente; usualmente de alimentación fuerte; desechos compactados en recipientes corrugados o papel o bolsas plásticas; usados en apartamentos de media y gran altura.
	Rotatorio	El mecanismo de pistón usado para compactar desechos en bolsas de papel o plástico sobre plataforma giratoria, la plataforma gira a medida que se llenan los recipientes, usado en apartamentos de media y gran altura.
	Bolsa o lanzador	Compactador puede ser alimentado por el conducto; ya sea con pistones verticales u horizontales; bolsas solas o solución continua. Las bolsas solas se deben remplazar y las bolsas continuas se desatan y vuelven a colocar, se usan en apartamentos de media y gran altura.
	Bajo el mesón	Compactadores pequeños usados en residencias individuales y apartamentos; desechos compactados en bolsas especiales de papel; después de que los desechos son lanzados por la puerta de un panel en la bolsa y se cierra la puerta del panel se irrigan para control de olores; se presiona el botón para activar el mecanismo de compactación.
	Estacionario/comercial	Compactador con pistón vertical u horizontal; desechos comprimidos en recipientes de acero; los desechos son atados y removidos a mano; se usan en apartamentos de baja, media y gran altura, instalaciones comerciales e industriales.
Recolección	Estacionario/empacador	Vehículos de recolección equipados con mecanismo de compactación.
Transferencia y/o estación de procesado	Estacionario/trailer de transferencia estacionario	Trailer de transporte, generalmente cerrado, equipado con equipo de compactación interno.
	Baja presión Alta presión	Los desechos son compactados en grandes recipientes Los desechos son compactados en balas densas u otras formas

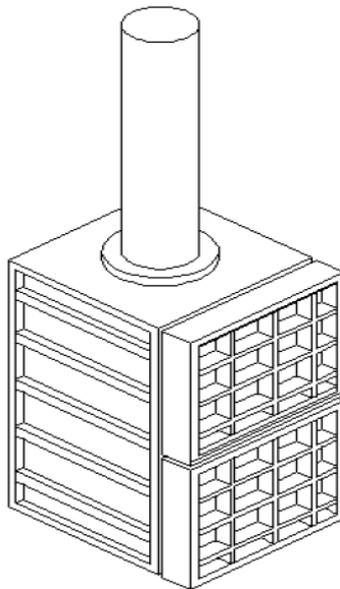
Sitio de disposición	Rueda móvil o equipo de tracción	Equipo especialmente diseñado para obtener máxima compactación de los desechos.
	Estacionario/ tracción montada	Los compactadores estacionarios móviles de alta presión se usan para reducción de volumen en sitios de disposición.

### 1.5- Tipos de compactadoras

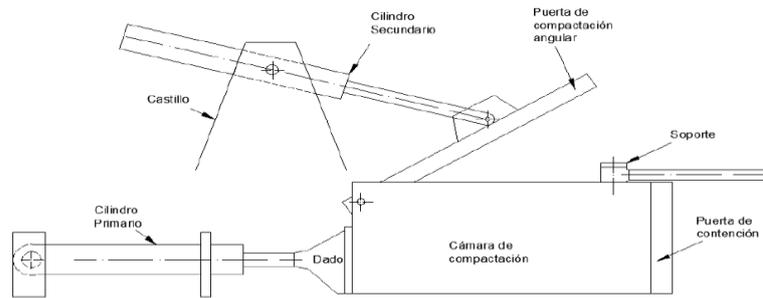
En el mercado existen distintos tipos de compactadoras de chatarras las podemos clasificar en dos grupos:

- Por su dirección de compactación.
- Por el número de etapas.

Por la dirección de compactación pueden ser verticales y horizontales, en las cuales se utiliza la configuración vertical para procesos de menor carga, mientras que las horizontales se emplea en aplicaciones en las que se requiera mayor capacidad.



**Fig. 1.5- Compactadora Vertical**



**Fig. 1.6- Compactadora Horizontal**

- **Según el número de etapas tenemos: simple, doble y triple.**

Compactadora Simple: en este grupo se encuentran las compactadoras verticales y horizontales; las cuales tienen un solo cilindro hidráulico para realizar el proceso de compactación proporcionan hasta una fuerza 75 Toneladas con una presión de 3300 PSI (Pounds per Square Inch) y un motor de 15 HP (Horse Power)).

Compactadora Doble: Este tipo de compactadoras son horizontales, cuentan con una etapa de movimiento angular controlado con cilindro neumático; una vez cerrada la tapa un segundo cilindro de mayor capacidad compacta la chatarra. Generan una fuerza de compactación de 80 a 130 toneladas.

Compactadora Triple: Este tipo de compactadoras son horizontales, tiene el mismo funcionamiento de la anterior, más otro cilindro de mayor capacidad ubicado a un costado, proporcionando una compactación en los ejes x, y, z. Estas compactadoras se las utiliza para trabajo pesado, proporcionando una fuerza de compactación de 85 a 200 toneladas [3].

## 1.6- Diseño

Diseñar es formular un plan para satisfacer una demanda humana. La necesidad particular que habrá de satisfacerse puede estar completamente bien definida desde el principio.

El diseño mecánico es el diseño de objetos y sistemas de naturaleza mecánica, máquinas, aparatos, estructuras, dispositivos e instrumentos. En su mayor parte, el diseño mecánico hace uso de las matemáticas, la ciencia de los materiales y la ciencia mecánica aplicada.

El diseño en ingeniería mecánica incluye el diseño mecánico pero es un estudio de mayor amplitud que abarca todas las disciplinas de la ingeniería mecánica incluso las ciencias térmicas y de los fluidos. Aparte de las ciencias fundamentales que se requieren, las bases del diseño en ingeniería mecánica son las mismas que las del diseño mecánico [30].

El diseño del producto conlleva, a menudo, la preparación de modelos analíticos y físicos del mismo, como ayuda para estudiar factores tales como las fuerzas, los esfuerzos, las deflexiones y la forma óptima de la pieza. La necesidad de estos modelos depende de la complejidad del producto. Hoy en día, el estudio de modelos analíticos se ha simplificado mediante el uso del diseño asistido por computadora.

El diseño, ingeniería y manufactura asistidos por computadora, y las técnicas de planificación de procesos, empleando grandes programas de computadora, se han hecho indispensables para aquellos que llevan a cabo dichos análisis. Los nuevos desarrollos incluyen sistemas expertos, que tienen capacidades de optimización y por lo tanto pueden acelerar el proceso iterativo tradicional de la optimización del diseño [27].

Durante las últimas décadas se han hecho muchos esfuerzos para conseguir sistemas de modelado geométrico que resulten “amigables” para los diseñadores y proyectistas y que produzcan modelo que sean “válidos” para todo el proceso de diseño.

Se están produciendo muchos avances en relación con todo esto, y en la industria ha comenzado a emplearse el término diseño y manufactura con conciencia ambiental, lo que indica el amplio alcance del problema. Se está haciendo especial énfasis en el diseño para el entorno o diseño verde. Este procedimiento anticipa el impacto ambiental negativo posible de materiales, productos y procesos, para que puedan tomarse en consideración desde las primeras etapas del diseño de la producción. Los objetivos principales son evitar la contaminación en la fuente y promover el reciclaje y reutilización en vez de la eliminación. Estas metas han llevado al concepto de Diseño para el reciclaje [27].

## 1.7- Diseño de compactadoras

Los elementos de la maquina deben estar diseñados en base a las cargas reales de operación, tales que soporten los esfuerzos producidos al momento de compactar.

El diseño de los elementos, muchas veces resulta complejo en cuanto al cálculo de esfuerzos o desplazamientos y serian vanos si están basados en cargas incorrectas o si están mal definidas las características de diseño [4].

A veces la resistencia de un elemento en un sistema es un asunto muy importante para determinar la configuración geométrica y las dimensiones que tendrá dicho elemento. En tal caso se dice que la resistencia es un factor importante de diseño. Cuando se usa la expresión consideración de diseño se está refiriendo a una característica que influye en el diseño de un elemento, o quizás, en todo el sistema. Generalmente se tienen que tomar en cuenta varios de estos factores en un caso de diseño determinado. Algunos de los más importantes son los siguientes:

- Resistencia.
- Confiabilidad.
- Propiedades térmicas.
- Corrosión.
- Desgaste.
- Fricción (o rozamiento).
- Procesamiento.
- Utilidad.
- Costo.
- Seguridad.
- Peso.
- Duración.
- Ruido.
- Estilización.
- Forma.
- Tamaño.

- Flexibilidad.
- Control.
- Rigidez.
- Acabado de superficies.
- Lubricación.
- Mantenimiento.
- Volumen.
- Responsabilidad legal.

Algunos de estos factores se refieren directamente a las dimensiones, el material, al procesamiento o procesos de fabricación, o bien a la unión o ensamble de los elementos del sistema. Otros se relacionan con la configuración total del sistema [30].

### **1.8- introducción al método de los elementos finitos (MEF)**

El método de los elementos finitos (MEF) ha adquirido una gran importancia en la solución de problemas ingenieriles, físicos, etc., ya que permite resolver casos que hasta hace poco tiempo eran prácticamente imposibles de resolver por métodos matemáticos tradicionales.

Algunos de los métodos utilizados en la ingeniería han tenido gran aplicación en el mundo de los ordenadores. La existencia del método de los elementos finitos viene desde épocas remotas utilizado por matemáticos egipcios en la construcción de pirámides, este método fue desechado por su complejidad de solución para la mente humana, pero con la aparición de los ordenadores potentes en la década de los 80 han tenido gran difusión. En el MEF se divide al modelo en muchos pedazos pequeños de formas simples llamados elementos (los así llamados elementos finitos) que reemplazan un problema complejo eficazmente por muchos problemas simples que necesitan ser resueltos simultáneamente. De las ventajas de los métodos numéricos y en especial del MEF en el mundo industrial y su continuo progreso ha sido vital el requerimiento de potentes ordenadores para obtener un análisis cada vez más preciso y eficiente, ya que problemas de esta índole en el mundo de los métodos numéricos eran casi imposible su solución por medio del cerebro humano por la cantidad de

cálculos complejos y el largo consumo de tiempo que necesitaban, ahora con la era de los ordenadores este tiempo se reduce considerablemente y seguirá reduciéndose a partir de la evolución de estos artefactos, solo dependiendo de crear los programas capaces de realizar dichos cálculos y llevar del lenguaje matemático a lenguajes de códigos de programación [13].

En los últimos años ha sido creciente el número de ingenieros y especialistas de las más diversas ramas, que utilizan el método o pretenden utilizarlo. La existencia de esta poderosa herramienta matemática y la proliferación de los programas profesionales de computación correspondientes han posibilitado esta situación. En ello ha incidido también, y de manera importante, la diseminación de las computadoras personales PC, de tan amplio uso actualmente en casi todas las esferas profesionales, y con cada vez más poderosas herramientas gráficas y de cálculo[16] [11].

Por métodos experimentales se obliga a realizar prototipos, ensayarlos e ir realizando mejoras de forma iterativa, lo que trae consigo un elevado costo tanto económico como en tiempo de desarrollo. El diseño de los sistemas estructurales modernos está asociado con grandes retos. Una gran tarea es la predicción del comportamiento de la estructura o de los elementos estructurales debido a la acción de las cargas externas (fuerzas gravitacionales, variación de temperatura, cargas electromagnéticas, presiones de fluidos).

En la actualidad existe una gran cantidad de paquetes profesionales de análisis por elementos finitos en el mercado con una alta precisión en los resultados finales y capaces de resolver complejos cálculos en cortos períodos de tiempo como son: toda la familia del COSMOS (COSMOS/M, Cosmos/DesignSTAR, CosmosWorks, CosmosEge), El ANSYS, el NASTRAN, el PASTRAN, el ABAQUS, etc y otros paquetes CAD que tienen incluidos módulos express de Análisis por Elementos Finitos como son: El Mechanical y el Inventor de Autodesk, el Pro Ingenier y el Catia [12] [11].

### **1.8.1- Breve historia del método de los elementos finitos**

Aunque el nombre del MEF se ha establecido recientemente, el concepto se ha usado desde hace varios siglos. El empleo de métodos de discretizado espacial y temporal y la aproximación numérica para encontrar soluciones a problemas ingenieriles o físicos es conocido desde antiguo. El concepto de “elementos finitos” parte de esa idea.

Para encontrar vestigios de este tipo de cálculos podríamos remontarnos a la época de la construcción las pirámides egipcias. Los egipcios empleaban métodos de discretizado para determinar el volumen de las pirámides. Arquímedes (287-212 a.C.) empleaba el mismo método para calcular el volumen de todo tipo de sólidos o la superficie de áreas. En oriente también aparecen métodos de aproximación para realizar cálculos. Así el matemático chino Lui Hui (300 d.C.) empleaba un polígono regular de 3072 lados para calcular longitudes de circunferencias con lo que conseguía una aproximación al número Pi de 3.1416.

El desarrollo de los elementos finitos tal y como se conocen hoy en día ha estado ligado al cálculo estructural fundamentalmente en el campo aeroespacial. En los años 40 Courant [8] propone la utilización de funciones polinómicas para la formulación de problemas elásticos en subregiones triangulares, como un método especial del método variacional de Rayleigh Ritz para aproximar soluciones.

Fueron Turner, Clough, Martin y Topp [33] quienes presentaron el MEF en la forma aceptada hoy en día. En su trabajo introdujeron la aplicación de elementos finitos simples (barras y placas triangulares con cargas en su plano) al análisis de estructuras aeronáuticas, utilizando los conceptos de discretizado y funciones de forma.

El trabajo de revisión de Oden [18] presenta algunas de las contribuciones matemáticas importantes al MEF. Los libros de Przemieniecki [20] y de Zienkiewicz y Holister [34] presentan el MEF en su aplicación al análisis estructural. El libro de Zienkiewicz y Cheung [7] o Zienkiewicz y Taylor [31] presenta una interpretación amplia del MEF y su aplicación a cualquier problema de campos. En él se demuestra que las ecuaciones de los EF pueden obtenerse utilizando un método de aproximación de pesos residuales, tal como el método de Galerkin o el de mínimos cuadrados. Esta visión del problema difundió un gran

interés entre los matemáticos para la solución de ecuaciones diferenciales lineales y no lineales mediante el MEF, que ha producido una gran cantidad de publicaciones hasta tal punto que hoy en día el MEF está considerado como una de las herramientas más potentes y probadas para la solución de problemas de ingeniería y ciencia aplicada.

Actualmente el método se encuentra en una fase de gran expansión: es ampliamente utilizado en la industria y continúan apareciendo cientos de trabajos de investigación en este campo. Los ordenadores han aportado el medio eficaz de resolver la multitud de ecuaciones que se plantean en el MEF, cuyo desarrollo práctico ha ido caminando parejo de las innovaciones obtenidas en el campo de la arquitectura de los ordenadores. Entre éstas, además de permitir la descentralización de los programas de EF, ha contribuido a favorecer su uso a través de sofisticados paquetes gráficos que facilitan el modelado y la síntesis de resultados. Hoy en día ya se concibe la conexión inteligente entre las técnicas de análisis estructural, las técnicas de diseño (CAD), y las técnicas de fabricación.

### **1.8.2- Conceptos generales del método**

La idea general del método de los elementos finitos es la división de un continuo en un conjunto de pequeños elementos interconectados por una serie de puntos llamados nodos. Las ecuaciones que rigen el comportamiento de un continuo regirán también el del elemento. De esta forma se consigue pasar de un sistema continuo (infinitos grados de libertad), que es regido por una ecuación diferencial o un sistema de ecuaciones diferenciales, a un sistema con un número de grados de libertad finito cuyo comportamiento se modela por un sistema de ecuaciones, lineales o no.

En cualquier sistema a analizar podemos distinguir entre:

- **Dominio:** Espacio geométrico donde se va analizar el sistema.
- **Condiciones de contorno:** Variables conocidas y que coincidan el cambio de sistema: cargas, desplazamientos, temperaturas, voltaje, fuentes de calor, etc.
- **Incógnitas:** Variables del sistema que deseamos conocer después que las condiciones de contorno han actuado sobre el sistema.

El método de los elementos finitos supone, para solucionar el problema, el dominio discretizado en subdominios denominados elementos. El dominio se

divide mediante puntos en el caso lineal, mediante líneas en el caso bidimensional o superficies en el caso tridimensional todas ellas imaginarias, de forma que el dominio total en estudio se aproxime mediante el conjunto de elementos en que se subdivide. Los elementos se definen por un número discreto de puntos, llamados nodos, que conectan entre si los elementos. Sobre estos nodos se materializa las incógnitas fundamentales del problema. En el caso de elementos estructurales éstas incógnitas son los desplazamientos nodales, ya que a partir de éstos podemos calcular el resto de incógnitas que nos interesen: tensiones, deformaciones, etc., a estas incógnitas se las denomina grados de libertad de cada nodo del modelo. Los grados de libertad de un nodo son las variables que nos determinan el estado y/o posición del nodo [6].

### **1.9- Introducción a los softwares CAD.**

El diseño ha sido a lo largo de la historia el cálculo y análisis a la solución de un determinado problema teniendo como producto final una imagen gráfica. Esta imagen gráfica o dibujo por métodos tradicionales se elabora mediante papel y lápiz; con la informatización ascendente que se viene experimentando desde la década de los 70 surge una ciencia llamada gráfica por computadora agrupando en ella varias ramas de los efectos gráficos aplicados a la computación los cuales han ido expandiéndose en la actualidad. Una de estas ramas viene ligada al diseño y tiene por nombre diseño asistido por computadora o CAD. Para ello se han creado softwares encargados de modelar los diseños teniendo un amplio campo en la actualidad tanto en dos como en tres dimensiones. Son muchos los softwares especializados en el mundo del diseño mecánico cada uno con ciertas ventajas y desventajas como son compatibilidad y transferencias de datos, personalización, velocidad y comodidad para el diseñador, etc. Teniendo como aplicaciones fundamentales:

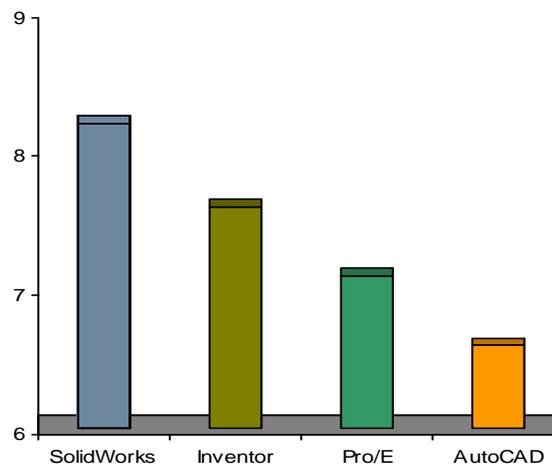
- Diseño conceptual y de detalle.
- Generación de planos.
- Ensamblajes.
- Catálogo de piezas normalizadas.
- Definición de tolerancias.
- Representación realista (texturas).
- Diseño de superficies.

- Creación de matrices.
- Piezas laminadas.
- Conjuntos soldados.
- Animaciones.

Las tendencias actuales de los sistemas CAD es que existen en el siglo XXI más de dos millones de usuarios en el mundo que utilizan CAD 2D conociéndose como los más relevantes calificados entre los software CAD de bajo rango están el AutoCAD y el MicroStation Modeler. Existen otros tres millones de usuarios que utilizan CAD 3D cumpliendo con las exigencias de la ingeniería moderna. Algunos de estos softwares son el Solid Edge, Mechanical Desktop, Solid Works, Catia (P1), ProEngineer Foundation, I-DEAS Artisan Package e Inventor calificándose todos ellos entre los de rango medio. Entre los softwares CAD 3D de alto rango se encuentran el ProEngineer, Catia (P2), I-DEAS, y Unigraphics [15].

### 1.10- Solid Works

El Solid Works, es el paquete de modelado geométrico más popular en el diseño mecánico hoy en día, además de ser uno de los más completos aplicado en la rama de la mecánica. Reconocidas firmas en el mundo lo utilizan. De ahí el hecho de ser una potente herramienta para el diseño paramétrico. Se considera que este software paramétrico junto a los otros es capaz de aumentar el rendimiento de diseño (comparado con el AutoCAD) hasta en un 40% [2]. En encuesta realizada a más de 21,000 usuarios CAD se puede apreciar la aceptación del software (ver figura 1.7).



**Fig. 1.7 – Calificación de aceptación de los usuarios CAD.**  
Fuente: (Simon Management Group [2009]).

El diseño de la compactadora se realizó por medio del software Solid Works. El software utiliza el método de elementos finitos. Este método es aceptado como el método de análisis estándar debido a su generalidad y la idoneidad para la aplicación informática. El método de elementos finitos divide el modelo en muchos pedazos pequeños de formas simple llamados elementos efectivos, sustituyendo un problema complejo por muchos problemas sencillos que se deben resolver simultáneamente. Los elementos comparten puntos comunes llamados nodos. El software divide al modelo en partes pequeñas este proceso se llama mallado. Cada nodo está completamente descrito por una serie de parámetros en función del tipo de análisis y el elemento utilizado. Para el análisis estructural, la respuesta de un nodo se describe, en general, por tres traslaciones y tres rotaciones, llamados grados de libertad. El software formula las ecuaciones que rigen el comportamiento de cada elemento teniendo en cuenta la conectividad con otros elementos. Estas ecuaciones se refieren su respuesta a las propiedades del material conocido, las restricciones y cargas. A continuación el programa organiza las ecuaciones en un gran conjunto de sistemas de ecuaciones algebraicas y resuelve las incógnitas. En el análisis de esfuerzo, por ejemplo, el solver encuentra los desplazamientos en cada nodo y a continuación el programa calcula la deformación y el esfuerzo final [5].

### **1.11- Análisis del Cosmos Works**

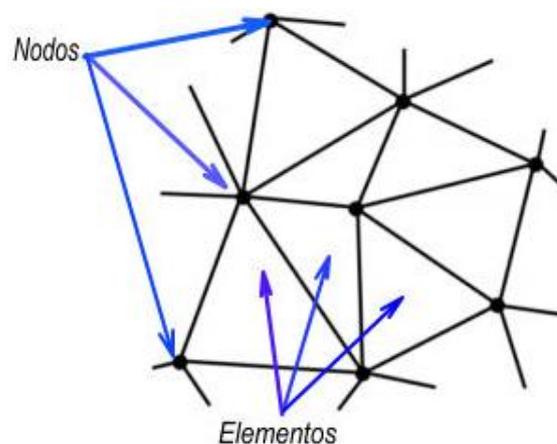
Si a las cualidades antes señaladas del Solid Works se le suma el hecho de que se le puede incorporar un paquete de análisis por elementos finitos que tiene por nombre COSMOSWorks (muy similar al COSMOSDesignSTAR, pero mucho más completo), con ello no es necesario exportar el modelo, con lo que se gana en tiempo y se mantiene la integridad del mismo. El modelo puede ser modificado y reanalizado en un momento dentro del mismo software. En lugar de crear manualmente estudios, mallar, ejecutar los diferentes tipos de análisis verificar los resultados. El Solid Works junto con el COSMOSWorks no necesita de gran equipamiento técnico [2].

Este paquete tiene la capacidad de incluir propiedades de materiales personalizadas a la base de datos de materiales del software, establecer cargas y restricciones en superficies complejas, define contactos como uniones rígidas, sin

penetración, zunchado, libre y pared virtual y el análisis de estudios estáticos, de fatiga, vibraciones, no lineal, frecuencia, pandeo, choque y optimización. Además es capaz de realizar los cálculos a los modelos a analizar con una elevada precisión en un corto período de tiempo.

### 1.12- Conceptos básicos de Análisis.

El sistema de análisis por elementos finitos Cosmos Works es un sistema de análisis interactivo con interface en línea al Sistema CAD Solid Works, y a su vez permite la importación de modelos geométricos de otros Sistemas CAD, así como la importación y exportación de modelos FEA (Finit Element Analisis) desde y hacia otros paquetes de análisis por elementos finitos, un generador de malla y un pre y post procesador de elementos finitos, forma parte de una familia amplia de paquetes de análisis a partir del paquete matriz de Cosmos M, derivados a partir de la complementación de este con paquetes CAD para aprovechar las ventajas de estos paquetes gráficos en el diseño de elementos y conjuntos mecánicos. Los elementos se unen a través de puntos llamados nodos. El proceso de dividir el modelo en partes pequeñas se llama mallado (ver figura 1.8). El comportamiento de cada elemento es conocido bajo diferentes condiciones de borde. El método de los elementos finitos usa diferentes tipos de elementos. La respuesta en cualquier punto en un elemento se interpola a partir de la respuesta en los nodos del elemento. Cada nodo se describe totalmente por varios parámetros que dependen del tipo del análisis y el elemento que se usó [11].



**Fig. 1.8 – Malla formada por elementos y nodos.**

### 1.13- Propiedades de los materiales.

Al seleccionar los materiales para los productos, primero se consideran sus propiedades mecánicas, físicas y químicas.

**Propiedades mecánicas:** Son aquellas que expresan el comportamiento de los metales frente a esfuerzos o cargas que tienden a alterar su forma como son:

**Resistencia:** Capacidad de soportar una carga externa si el metal debe soportarla sin romperse se denomina carga de rotura y puede producirse por tracción, por compresión, por torsión o por cizallamiento, habrá una resistencia a la rotura ( $\text{kg/mm}^2$ ) para cada uno de estos esfuerzos.

**Dureza:** Propiedad que expresa el grado de deformación permanente que sufre un metal bajo la acción directa de una carga determinada. Los ensayos más importantes para designar la dureza de los metales, son los de penetración, en que se aplica un penetrador (de bola, cono o diamante) sobre la superficie del metal, con una presión y un tiempo determinados, a fin de dejar una huella que depende de la dureza del metal, los métodos más utilizados son los de Brinell, Rockwell y Vickers.

**Elasticidad:** Capacidad de un material elástico para recobrar su forma al cesar la carga que lo ha deformado. Se llama límite elástico a la carga máxima que puede soportar un metal sin sufrir una deformación permanente. Su determinación tiene gran importancia en el diseño de toda clase de elementos mecánicos, ya que se debe tener en cuenta que las piezas deben trabajar siempre por debajo del límite elástico, se expresa en  $\text{kg/mm}^2$ .

**Tenacidad:** Resistencia a la rotura por esfuerzos de impacto que deforman el metal. La tenacidad requiere la existencia de resistencia y plasticidad.

**Plasticidad:** Capacidad de deformación permanente de un metal sin que llegue a romperse.

**Fatiga:** Si se somete una pieza a la acción de cargas periódicas (alternativas o intermitentes), se puede llegar a producir su rotura con cargas menores a las que producirían deformaciones.

**Fluencia:** Propiedad de algunos metales de deformarse lenta y espontáneamente bajo la acción de su propio peso o de cargas muy pequeñas. Esta deformación lenta, se denomina también creep.

A continuación debe tenerse en cuenta las propiedades físicas de los materiales como son:

**Calor específico:** Es la cantidad de calor necesaria para elevar en 1°C la temperatura de 1 kg de determinada sustancia. El calor específico varía con la temperatura. En la práctica se considera el calor específico medio en un intervalo de temperaturas.

**Dilatación:** aumento de tamaño de los materiales, a menudo por efecto del aumento de temperatura.

**Punto de fusión:** Es la temperatura a la cual un material pasa del estado sólido al líquido, transformación que se produce con absorción de calor.

**Peso específico:** El peso específico puede ser absoluto o relativo: el primero es el peso de la unidad de volumen de un cuerpo homogéneo. El peso específico relativo es la relación entre el peso de un cuerpo y el peso de igual volumen de una sustancia tomada como referencia; para los sólidos y líquidos se toma como referencia el agua destilada a 4°C [19].

## CAPÍTULO II: MATERIALES Y MÉTODOS.

### 2.1- Procedimiento para diseñar el prototipo de compactadora de chatarra de Aluminio.

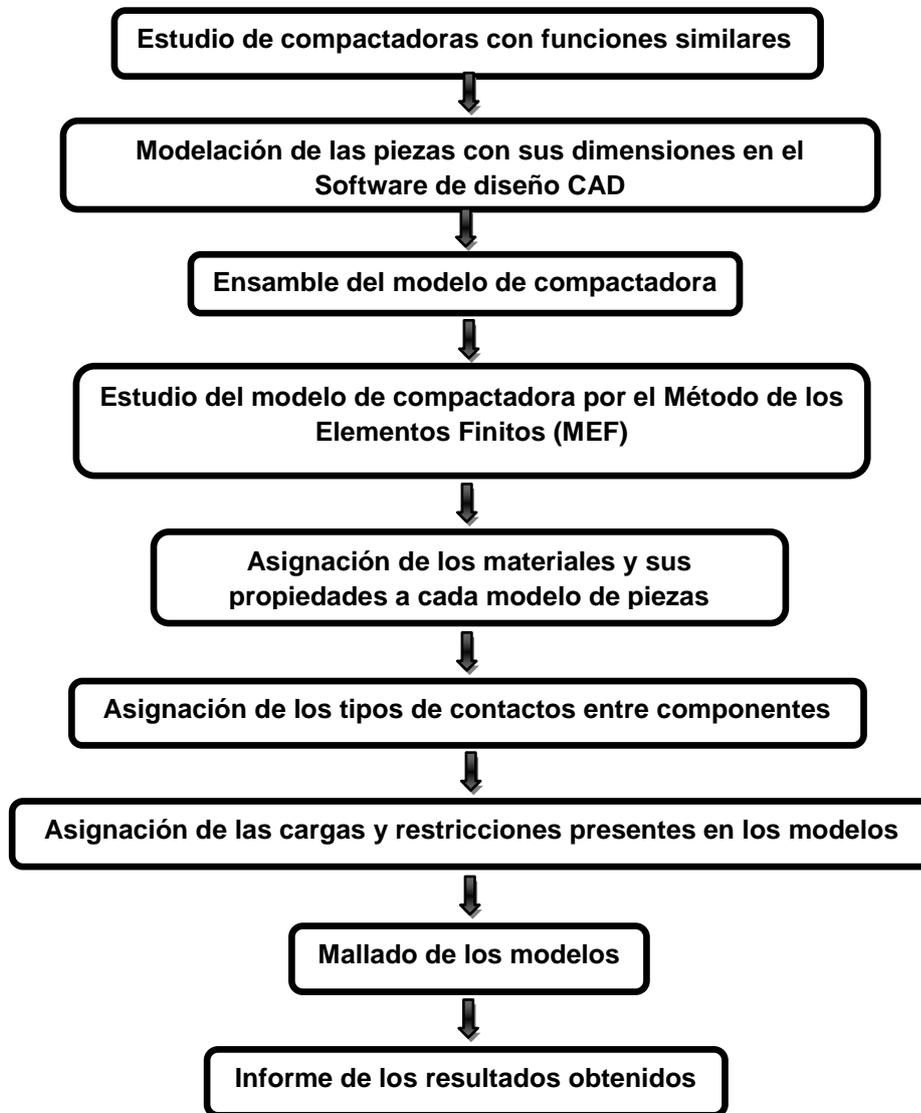


Fig. 2.1- Diagrama de flujo para el diseño del prototipo de compactadora.

### 2.2- Estudio de compactadoras con funciones similares.

Para el realizar el diseño del prototipo de compactadora de chatarra de aluminio se partió primeramente de estudios a compactadoras con funciones similares, se desglosaron los diferentes tipos de compactadoras por tamaño, funciones, formas de comprimir y cantidad de fuerza que ejercen para comprimir entre otros

parámetros como son materiales disponibles en el país así como su precio condiciones del lugar y ambiente donde va a trabajar.

### **2.3.- Modelación de las piezas con sus dimensiones en el Software de diseño CAD.**

Para modelación el prototipo se utilizó el software de diseño asistido por computadora Solid Works en su versión 2010, siendo este una potente herramienta de diseño utilizado en el mundo. En dicho software se modelaron en 3D (3 Dimensiones) cada una de las piezas con que cuenta el prototipo de compactadora. Las piezas que conformaron definitivamente el prototipo de compactadora para chatarras de aluminio son las siguientes:

- Base.
- Pared de los costados (2).
- Pared trasera.
- Puerta.
- Soporte superior.
- Bisagras (3).
- Cerradura.
- Pistón.
- Simulación de la chatarra.

### **2.4- Ensamble del modelo de compactadora.**

Para el ensamble de cada uno de los modelos de piezas que conforman la compactadora se utilizó el módulo de ensamble del software Solid Works aplicando relaciones de posición entre cada una de las superficies que tienen relación entre sí.

### **2.5- Estudio del modelo de prototipo compactadora por el Método de los Elementos Finitos.**

Una vez modelado el prototipo de compactadora de chatarra de aluminio se procedió a realizar dos estudios estructurales del modelo por el método de elementos finitos, siendo este uno de los métodos numérico de mayor utilización en la actualidad con fines ingenieriles teniendo su implementación en ordenadores mediante softwares especializados. Para esta investigación se utilizó

el módulo de cálculo por elementos finitos con que consta el Solid Works en su versión 2010, que tiene por nombre *Simulation*, una potente herramienta de cálculo utilizada en los momentos actuales de la ingeniería. Para el análisis se realizaron dos estudios estáticos desde el punto de vista estructural para determinar tensiones, desplazamientos y factores de seguridad de las piezas más importantes. El primer estudio se le realizó al pistón de la compactadora para ver su comportamiento estructural ante la carga aplicada y el segundo a la compactadora, aplicándole la carga a la chatarra para ver el comportamiento estructural de sus paredes y puerta. Con estos dos estudios se simplifica el modelo siendo esto uno de los principios fundamentales a la hora de realizar un cálculo por elementos finitos.

## **2.6- Asignación de los materiales y sus propiedades a cada modelo de piezas.**

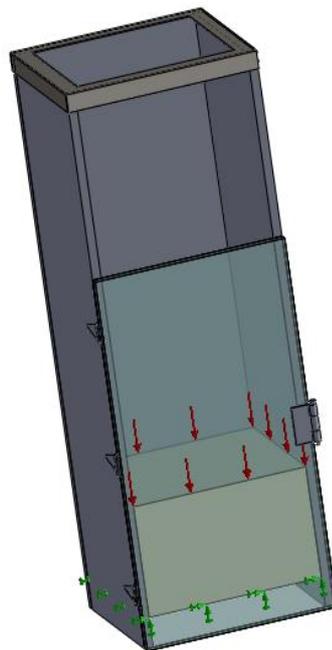
Para la realización de los estudios estáticos se le asignaron los materiales con sus propiedades mecánicas a cada una de las piezas que conforman el ensamble después de un estudio previo de cada material. El pistón al igual que la base se modelaron con las propiedades de un acero aleado 6150, todas las piezas que conforman las bisagras, la cerraduras y el soporte superior se modelaron con las propiedades del acero al carbono 1023 en chapa, las paredes de los costados y la puerta se modelaron con las propiedades del acero normalizado AISI 4340 y la chatarra de aluminio a comprimir se modelo como un cubo compacto lo que empeora las condiciones respecto a las reales y aporta un coeficiente de seguridad con las propiedades de la aleación de aluminio 1060. Todas estas designaciones bajo las condiciones de la norma AISI (*American Iron and Steel Institute*).

## **2.7- Asignación de los tipos de contactos entre componentes.**

Para una simulación del modelo lo más cercano a la realidad se tuvo en cuenta los diferentes tipos de contactos entre componentes creando contactos sin penetración entre las superficies en el estudio de la compactadora. Para el resto de las partes de los modelos se simularon los contactos como una unión rígida global.

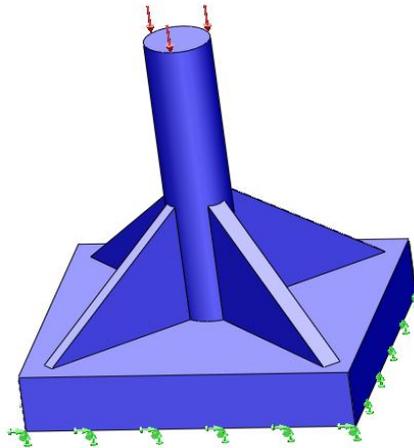
## 2.8- Asignación de las cargas y restricciones presentes en los modelos.

Después de un estudio en compactadoras similares se determinó la fuerza que se le iba a aplicar siendo la seleccionada superior a las reportadas por las bibliografías que abordan el tema. Para ello se tuvo en cuenta la resistencia a la compresión de algunas de las posibles aleaciones de aluminio que se iban a comprimir en dicha compactadora tomando el valor por exceso (ver figura 2.2).



**Fig. 2.2- Representación de la carga y las restricciones en la compactadora.**

Las restricciones se simularon en la superficie inferior de la chatarra. En el estudio realizado al pistón se representó la misma intensidad de la carga en la superficie que conecta la barra con el dispositivo hidráulico mientras que el modelo se restringió por la superficie inferior que comprime a la chatarra (ver figura 2.3).



**Fig. 2.3- Representación de la carga aplicada**

### **2.9- Mallado de los modelos.**

En este paso se realiza una de las operaciones de mayor importancia en un análisis por elementos finitos y de mucho cuidado, de ella dependen mucho los resultados finales de la simulación y su posterior interpretación. En el estudio se realizó un control de mallado a las piezas que no tenían una función significativa en el estudio estático y que diferían en grandes proporciones de por la diferencia de tamaño de una con otra. En el mallado se tiene en cuenta el tamaño del elemento y la tolerancia entre elementos Para ambos estudios se realizó un mallado sólido tetraédrico.

### **2.10- Informe de los resultados obtenidos.**

En este paso después de asignarle todas las variables necesarias a los estudios el Solver realiza los cálculos y da un informe de los resultados calculados, el cual consiste en valores a escala isocromáticas de parámetros de resistencia mecánica como son: las tensiones de Von Mises, tensiones normales, desplazamientos resultante y en los diferentes ejes de coordenadas así como el factores de seguridad para las diferentes piezas que conforman el modelo siendo recomendable para diseños de este tipo alrededor de 2 (Mort). Teniendo estos resultados se hace un análisis a partir de la interpretación de los mismos desde el punto de vista ingenieril.

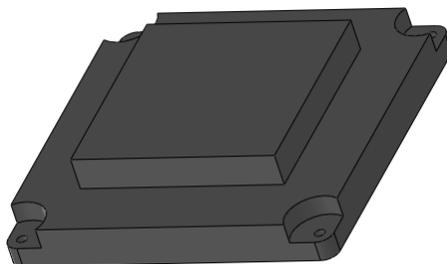
## **CAPÍTULO III: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS DEL PROTOTIPO DE COMPACTADORA DE CHATARRA DE ALUMINIO.**

### **3.1- Estudio de compactadoras con funciones similares.**

Después de haber realizado un estudio bibliográfico sobre los tipos de compactadoras, las funciones que realizaban, su clasificación, porte según volumen de compactación, ambiente de trabajo y otros parámetros desde el punto de vista del diseño como posibles materiales para su fabricación se determinó diseñar un prototipo de compactadora de chatarras de aluminio capaz de comprimir más de 400 MPa de presión en sentido vertical. Teniendo en cuenta para ello la resistencia a la compresión de diferentes aleaciones de aluminio, siendo esta presión muy superior a la resistencia a la compresión de las aleaciones de aluminio para latas de bebidas y similares, enseres o cazuelas de la cocina entre otros. Para el modelo se simulan las uniones entre las paredes como una unión soldada en solapa en conjunto con la base, su soporte superior, las bisagras y la cerradura.

### **3.2- Modelación de las piezas con sus dimensiones en el Software de diseño CAD.**

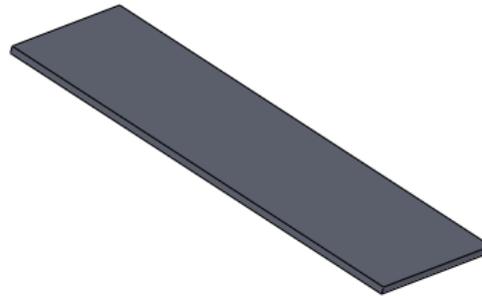
Las piezas pertenecientes al prototipo de compactadora se modelaron en software de diseño Solid Works 2010. La cual cuenta con un modelo de pieza que representa la base de la compactadora (ver figura 3.1).



**Fig. 3.1- Modelo en 3D de pieza base del prototipo de compactadora.**

Esta pieza consta con una superficie de 800x800 mm de apoyo con el suelo y un espesor de 100 mm, un área de compactación de 500x500 mm y un espesor de 80 mm, con cuatro orificios en los extremos donde se fijará la compactadora con

un diámetro de  $\varnothing 25$  mm. El modelo de pieza que representa las paredes de los laterales tiene una dimensión de 500x1500 mm con espesor de 25 mm (ver figura 3.2).



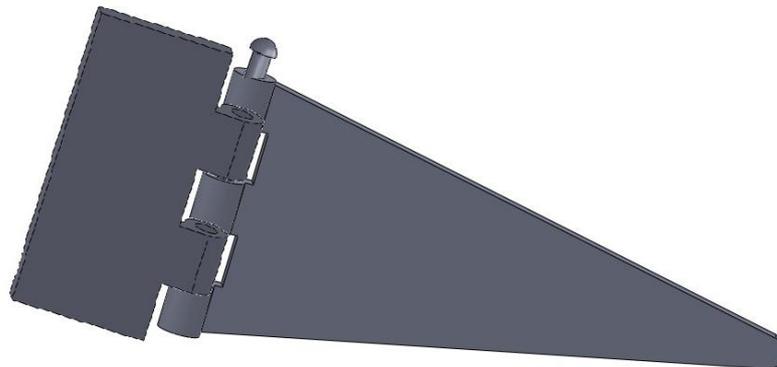
**Fig. 3.2- Modelo en 3D de las paredes de los laterales.**

La pared trasera se encuentra modelada con una dimensión de 550x1500 mm y un espesor de 25 mm, mientras que la puerta tiene una dimensión 550x1000mm con un espesor de 25 mm. El soporte superior es modelado como una viga perfil tipo L con la denominación L2.5x2x0.25 según la norma ANSI (American National Standards Institute) (ver figura 3.3).



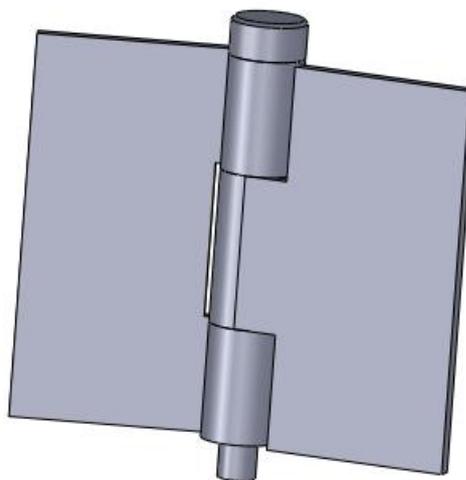
**Fig. 3.3- Modelo en 3D del soporte superior.**

El modelo de compactadora consta de tres bisagras distribuidas uniformemente a lo largo de la puerta que fijan la misma a las paredes y permiten la acción de abrir y cerrar. Estas bisagras deben ser soldadas a la pared de la compactadora, cada bisagra consta de tres piezas, un pasador que une una parte de la bisagra con la otra (ver figura 3.4).



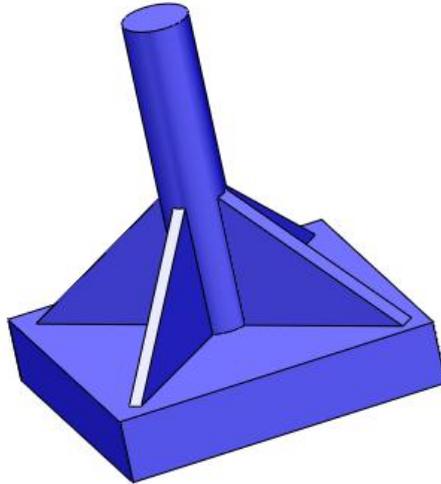
**Fig. 3.4- Modelo en 3D de la bisagra.**

La cerradura de la puerta se diseñó con tres componentes, dos partes de la cerradura y el pasador que garantiza el cierre (ver figura 3.5). Esta pieza debe ir soldada, un elemento al centro de la puerta y el otro a la misma distancia en la pared.



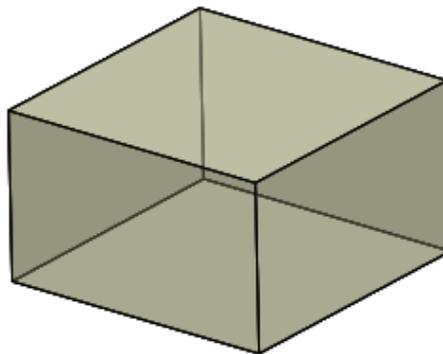
**Fig. 3.5- Modelo en 3D de la cerradura.**

El pistón es el encargado de comprimir la chatarra, esta pieza tiene una superficie de compresión de 500x500 mm con un espesor de 100mm, tiene una barra de 500 mm de largo con un diámetro de  $\varnothing 100$  mm. También consta con cuatro nervios en sus cuatro esquinas que contribuyen a disminuir la reacción a la compresión. Estos nervios tienen un espesor de 20mm, una altura de 250 mm y un largo de 300 mm con respecto a la horizontal (ver figura 3.6).



**Fig. 3.6- Modelo en 3D del pistón.**

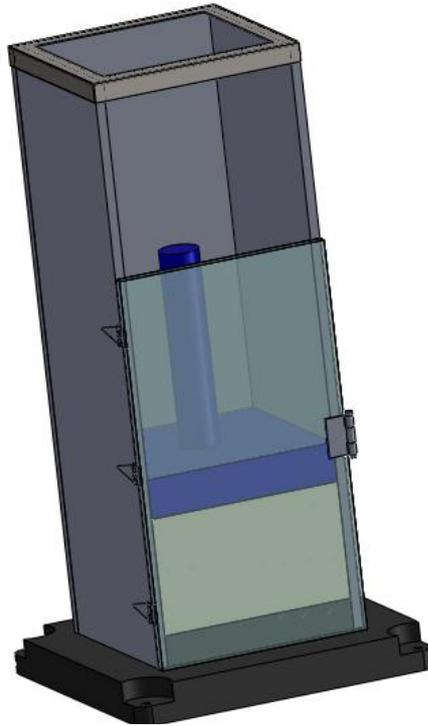
Para simular la chatarra se modeló un prisma compacto con las siguientes dimensiones, 500x500x300 mm, siendo esta última dimensión la distancia esperada una vez compactada la chatarra (ver figura 3.7).



**Fig. 3.7- Modelo en 3D de la chatarra.**

### **3.3- Análisis del ensamble del modelo de prototipo de compactadora.**

Para el ensamble del prototipo se utilizaron todas las piezas modeladas y se establecieron las relaciones de posición de concentricidad, distancia, coincidencia entre cada una de las piezas que tienen relaciones entre sí, vea un modelo en 3D del prototipo de compactadora en la figura 3.8.



**Fig. 3.8- Modelo en 3D del ensamble del prototipo de compactadora.**

### **3.4- Propiedades químicas y mecánicas de los materiales de cada modelo de pieza.**

Para los materiales utilizados en el prototipo de compactadora se tuvieron en cuenta sus propiedades mecánicas y físicas teniendo de las primeras el módulo elástico, el coeficiente de Poisson, módulo a la cortante, Densidad del material, el límite a la Tracción, límite a la compresión y el límite elástico. De las propiedades químicas se plantean el porcentaje de carbono y los elementos aleantes. Las propiedades mecánicas del acero al carbono 1023 se pueden observar en la Tabla 3.1.

**Tabla 3.1- Propiedades mecánicas del acero al carbono 1023 en chapa.**

<b>Propiedad</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidades</b>
Módulo elástico	205000	MPa
Coeficiente de Poisson	0.29	
Módulo cortante	80000	MPa
Densidad de masa	7858	kg/m <sup>3</sup>
Límite de tracción	425	MPa
Límite de compresión		
Límite elástico	282.69	MPa

Las propiedades químicas del acero al carbono 1023 son: acero al carbono con 0.23% de carbono sin otro elemento aleante según norma AISI.

Las propiedades mecánicas del acero normalizado 4340 se pueden observar en la Tabla 3.2.

**Tabla 3.2- Propiedades mecánicas del acero normalizado 4340.**

Propiedad	Valor	Unidades
Módulo elástico	205000	MPa
Coeficiente de Poisson	0.32	
Módulo cortante	80000	MPa
Densidad	7850	kg/m <sup>3</sup>
Límite de tracción	1110	MPa
Límite de compresión		
Límite elástico	710	MPa

Propiedades químicas del acero normalizado 4340 son: Acero aleado con molibdeno con Níquel y cromo agregado en concentraciones específicas y 0.40% de carbono según AISI.

Las propiedades mecánicas del acero aleado 6150 se pueden observar en la Tabla 3.3.

**Tabla 3.3- Propiedades mecánicas del acero aleado 6150.**

Propiedad	Valor	Unidades
Módulo elástico	210000	MPa
Coeficiente de Poisson	0.28	
Módulo cortante	79000	MPa
Densidad de masa	7700	kg/m <sup>3</sup>
Límite de tracción	723.83	MPa
Límite de compresión en x		
Límite elástico	620.42	MPa

El acero aleado 6150 según la norma AISI es un tipo de acero para engranes, piezas forjadas, ejes y resortes con 0.50% de carbono aleado con 0.50% de cromo y 0,15% de vanadio.

Las propiedades mecánicas de la aleación de aluminio 1060 se pueden observar en la Tabla 3.4.

**Tabla 3.4- Propiedades mecánicas de la aleación de aluminio 1060.**

Propiedad	Valor	Unidades
Módulo elástico	69000	MPa
Coefficiente de Poisson	0.33	
Módulo cortante	27000	MPa
Densidad de masa	2700	kg/m <sup>3</sup>
Límite de tracción en x	68.94	MPa
Límite de compresión en x		
Límite elástico	27.57	MPa

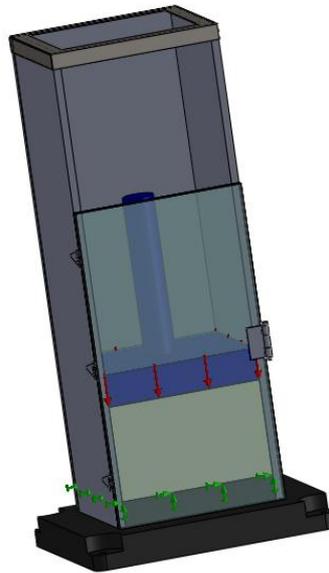
Las propiedades químicas de la aleación de aluminio 1060 utilizado, según la norma AISI es un tipo de aleación para equipos, tanques, y conductores eléctricos, se pueden encontrar en láminas placas y tubos con un 60% de aluminio sin otro elemento aleante ni concentraciones considerables de impurezas.

### **3.5- Análisis de los tipos de contactos entre componentes.**

Para el análisis por elementos finitos se tuvieron en cuenta diferentes contactos existentes entre los componentes modelados. Entre las superficies con una relación considerada de importancia como las paredes de la chatarra que entran en contacto con las paredes de la compactadora y la superficie de la base se simularon contactos sin penetración, mientras que para el resto de los modelos se simularon los contactos entre sí como una unión rígida global.

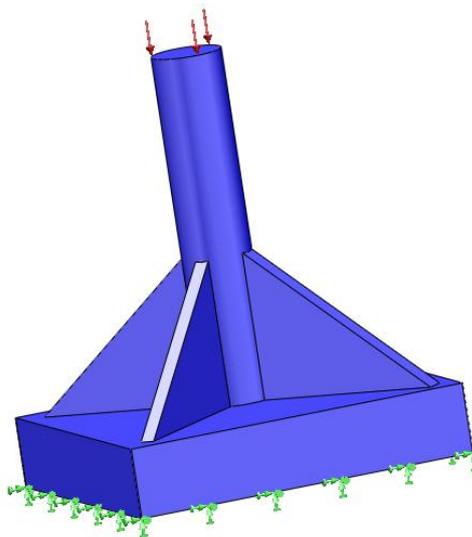
### **3.6- Análisis de las cargas y restricciones presentes en los modelos.**

Las cargas que se encuentran presentes en ambos estudio son de la misma intensidad de 185 MPa de presión, siendo este valor un número superior a la resistencia a la compresión de las aleaciones de aluminio que se comprimen en la práctica con este tipo de equipos. Esta carga se simuló en la superficie de la cara superior de la chatarra simulando la presión que le ejerce el pistón a la misma (ver figura 3.9). Mientras que las restricciones se simularon en el estudio de la compactadora como una geometría fija en la superficie que representa la cara inferior de la chatarra que hace contacto con el piso de la base (ver figura 3.9).



**Fig. 3.9- Representación de la carga y las restricciones.**

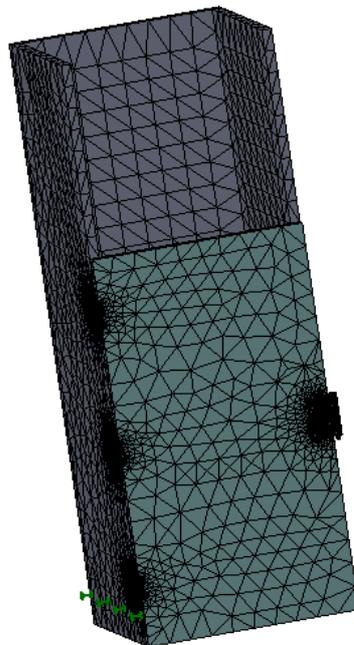
En el estudio realizado al pistón la carga fue representada en la parte superior circular de la barra del pistón simulando la presión que le ejerce el dispositivo hidráulico al pistón para comprimir la viruta (ver figura 3.10), mientras que las restricciones en este estudio se simularon como una geometría fija en la superficie de la cara inferior del pistón que hace contacto con la chatarra para comprimirla (ver figura 3.9).



**Fig. 3.10- Representación de la carga y las restricciones en el pistón.**

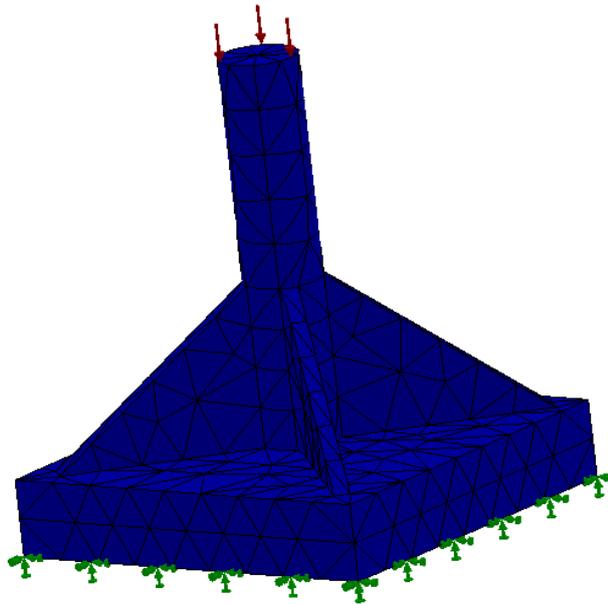
### 3.7- Mallado de los modelos.

Para el mallado de los modelos se simplificó el modelo de compactadora, primeramente se realizaron dos estudios estáticos un para ver el comportamiento de la compactadora con la presión que le ejerce la chatarra y otro para ver el comportamiento del pistón ejerciéndole presión a la chatarra. En el estudio de la compactadora por su carácter de ensamble y por tener piezas con dimensiones muy diferentes se le aplicó la opción de control de mallado a las piezas de pequeñas involucradas en el estudio. También se excluyeron del estudio a algunas piezas consideradas no significativas para el estudio. Para el mallado se realizó un mallado sólido tetraédrico de alto orden al ensamble con un tamaño de elementos 60 mm y una tolerancia 0,09 mm por elementos, para un total de 73 325 elementos y 119 047 nodos. En el control de mallado de este estudio se incluyeron las siguientes piezas: las tres bisagras con todos sus elementos y la cerradura con todos sus elementos para un total de 12 componentes con un tamaño de elemento de 3 mm y un coeficiente de 1,5. En este estudio se excluyeron del análisis las piezas soporte superior, base y pistón. Vea la representación del mallado de este estudio en la figura 3.11.



**Fig. 3.11- Mallado del modelo de compactadora.**

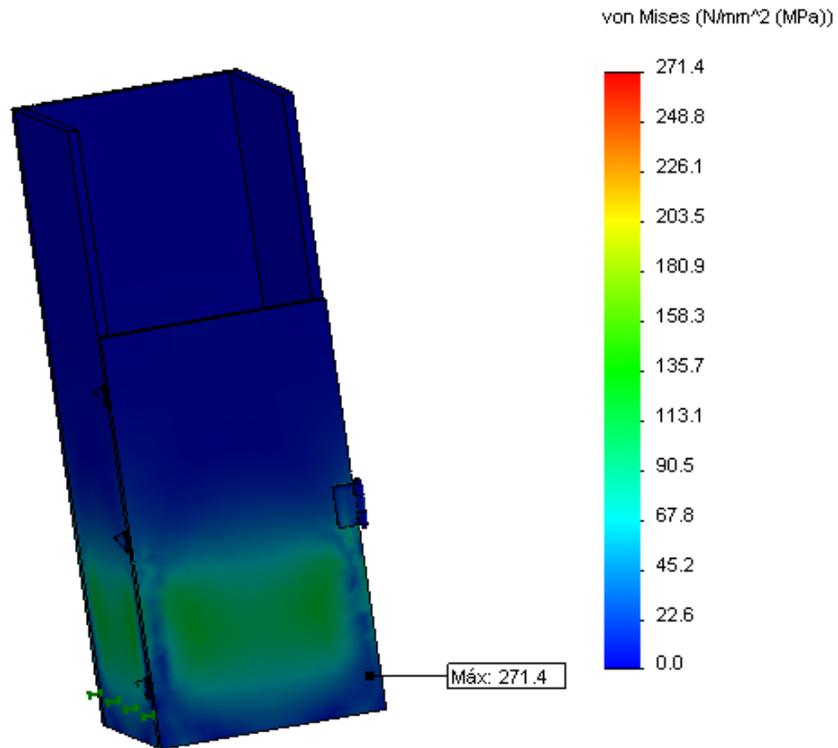
Para el estudio del pistón se utilizó un mallado sólido tetraédrico de alto orden con un tamaño de elemento de 60 mm igual que el estudio anterior en igualdad de condiciones con una tolerancia entre elementos de 3 mm. En el mallado de este estudio se obtuvieron 1533 elementos con 2818 nodos. Vea una representación del mallado de este estudio en la figura 3.12.



**Fig. 3.12- Mallado del modelo de pistón.**

### **3.8- Análisis de los resultados obtenidos.**

En los informes de los estudios realizados se tomaron en cuenta según los resultados de un estudio estructural de este tipo las tensiones equivalentes de Von Mises, las tensiones normales en el eje de compresión (Z), los desplazamientos resultantes, los desplazamientos en el eje compresión y los factores de seguridad de las piezas implicadas en esfuerzos considerables en el estudio. En el estudio de la compactadora se obtuvieron unas tensiones máximas de Von Mises de 271,4 MPa en una de las esquinas (ver figura 3.13) estando estas tensiones por debajo del límite elástico de los materiales de las piezas involucradas.



**Fig. 3.13- Tensiones de Von Mises en el estudio de la compactadora.**

Las tensiones normales en el eje de compresión obtenidas en este estudio estuvieron en un rango de  $-412,7$  MPa a  $74,8$  MPa interpretándose como las tensiones máximas las de  $412$  MPa estando con signo negativo por encontrarse en dirección contraria al eje de compresión. Estas tensiones se encuentran en una de las esquinas inferiores del área de compresión (ver figura 3.14) Estas tensiones están por debajo del límite elástico de las piezas involucradas en esa área.

Los desplazamientos resultantes de este estudio tuvieron un máximo desplazamiento de  $0,78$  mm como era de esperar en la superficie superior de la chatarra (ver figura 3.15) mientras que los desplazamientos máximos en el eje de compresión fueron de  $0,74$  mm en dirección contraria al eje de compresión (ver figura 3.16).

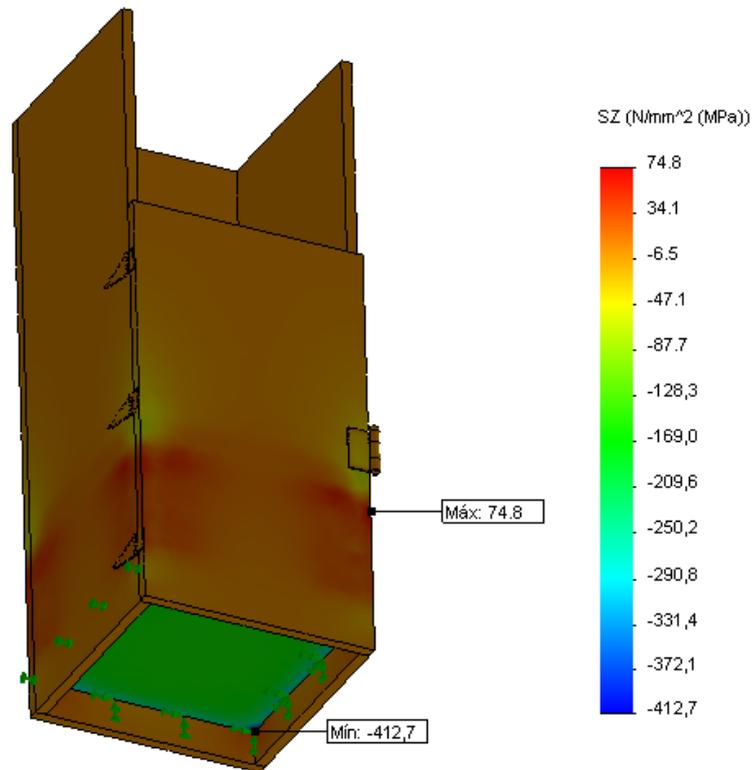


Fig. 3.14 Tensiones normales en el eje de compresión de la compactadora.

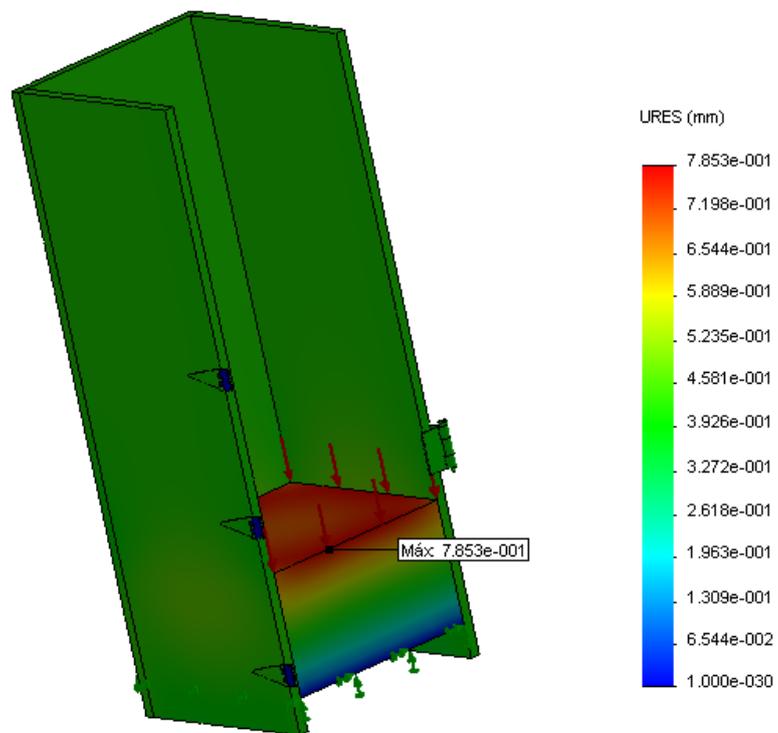
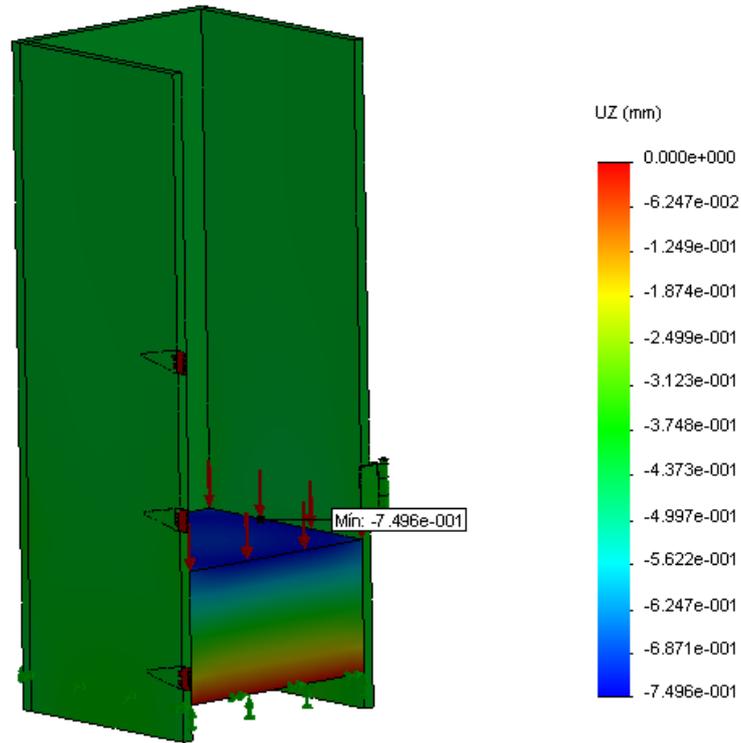
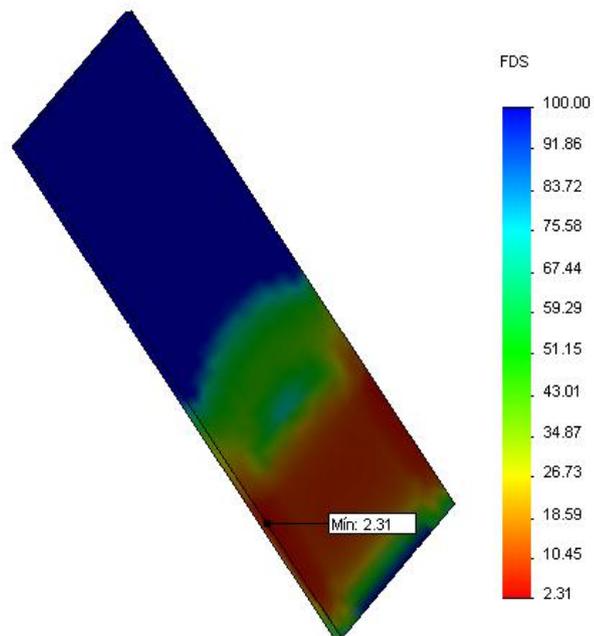


Fig. 3.15- Desplazamientos resultantes en la compactadora.



**Fig. 3.16- Desplazamientos en el eje de compresión de la compactadora.**

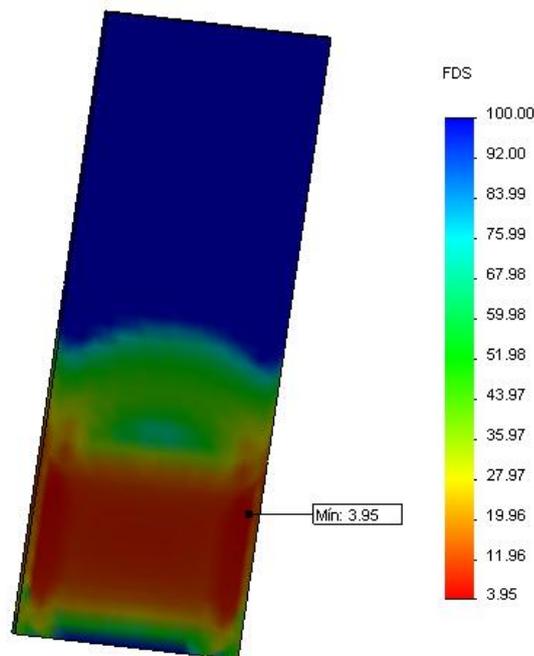
En el análisis de los factores de seguridad por piezas se tuvieron en cuenta las piezas de mayor importancia implicadas en el estudio. En este caso se analizaron los factores de seguridad de las tres paredes de la compactadora y la puerta.



**Fig. 3.17- Factor de seguridad de la pared lateral izquierda.**

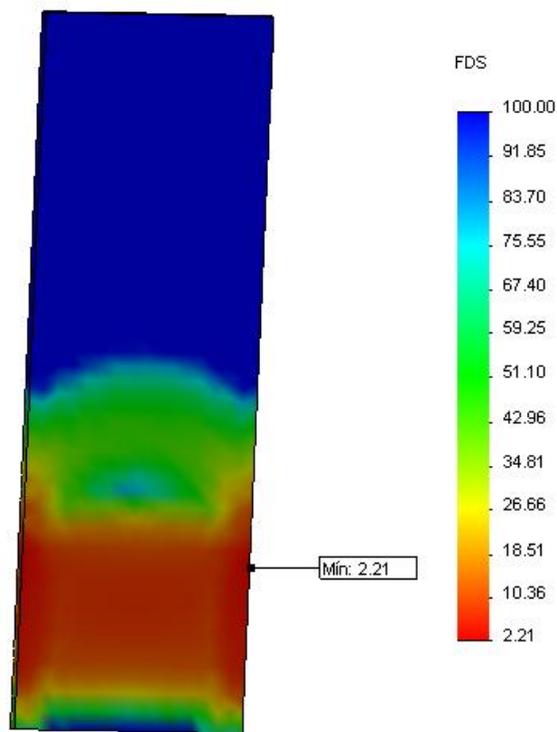
En la figura 3.17 se puede apreciar el factor de seguridad mínimo en la pared lateral izquierda siendo este de 2,31 estando por encima del límite elástico y de los valores recomendados de factores de seguridad para este tipo de equipos según bibliografía especializada. Este valor se encuentra en la arista que se une mediante soldadura con la pared trasera.

En la pieza pared trasera se encontró un factor de seguridad mínimo de 3,95 también por encima del límite elástico del material con que se modeló la pieza y de lo establecido en la bibliografía para el diseño de este tipo de equipo. El valor de este factor de seguridad se encontró en el mismo lugar donde se encontraba el de la pieza pared lateral izquierda como era de esperar (ver figura 3.18).



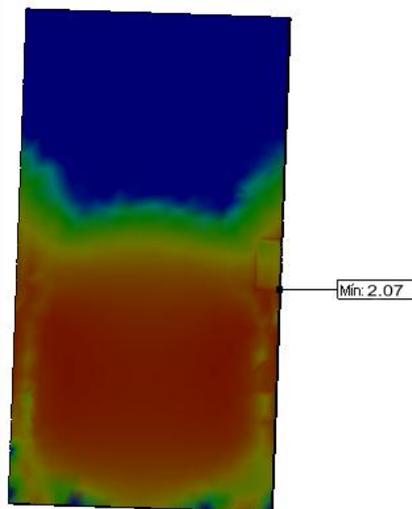
**Fig. 3.18- Factor de seguridad de la pared trasera.**

En la pieza pared lateral derecha se encontró un factor de seguridad mínimo de 2,21 siendo este mayor que lo establecido para el diseño de este tipo de equipo (ver figura 3.19). Este valor se encontró en la arista que une mediante una unión soldada a la pared lateral con la pared superior.



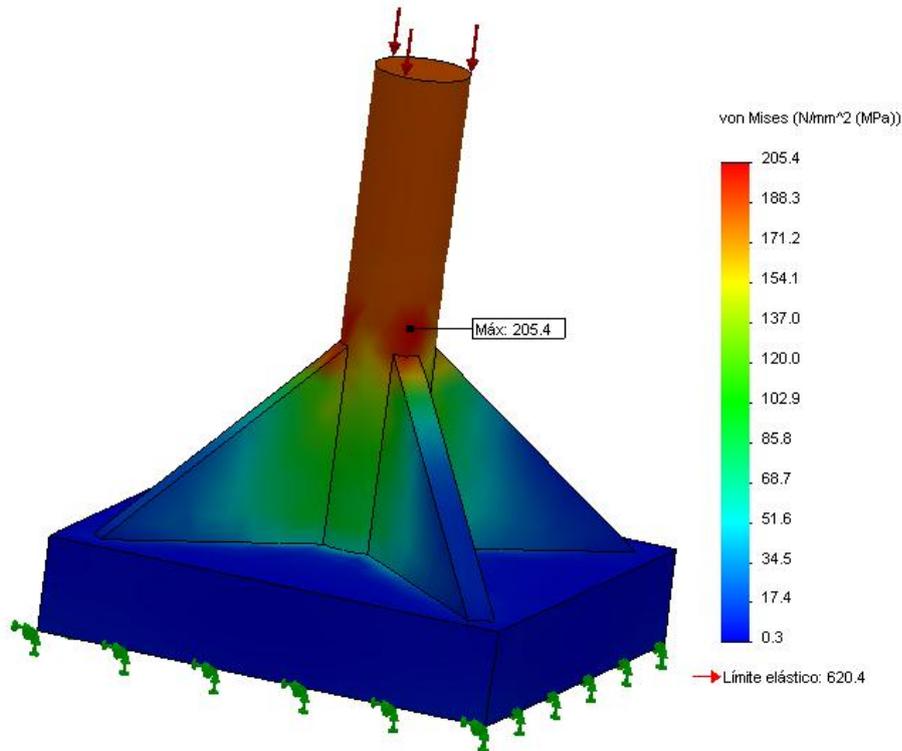
**Fig. 3.19- Factor de seguridad de la pared lateral derecha.**

En la puerta se encontró un factor de seguridad mínimo de 2,07 siendo este mayor que lo establecido para el diseño de este tipo de equipo (ver figura 3.20). Este valor se encontró en la arista interior cerca de la cerradura encontrándose aquí la mayor concentración de tensiones para esta pieza. Esta pieza tiene el menor factor de seguridad de todas las analizadas, factor a tener en cuenta para un futuro rediseño de este modelo de compactadora.



**Fig. 3.20- Factor de seguridad de la puerta**

En el estudio realizado al pistón de la compactadora se obtuvieron tensiones de Von Mises en un rango de 0,3 MPa a 205,4 MPa encontrándose las tensiones máximas en la barra del pistón y estando este valor por debajo del límite elástico del material con que esta modelada la pieza (ver figura 3.21).



**Fig. 3.21- Tensiones de Von Mises en el pistón.**

Las tensiones normales en el eje de compresión en esta pieza tuvieron su concentración máxima en la misma parte que las tensiones de Von Mises con un valor de 209,3 MPa en dirección contraria al eje mientras que las tensiones mínimas se tuvieron un valor de 7,4 MPa. Estas tensiones están por debajo del límite elástico del material con que esta modelada la pieza (ver figura 3.22).

En el análisis de los desplazamientos resultantes para este estudio se tuvo que el máximo desplazamiento fue de 0,39 mm y se localizó en la parte superior de la barra del pistón (ver figura 3.23).

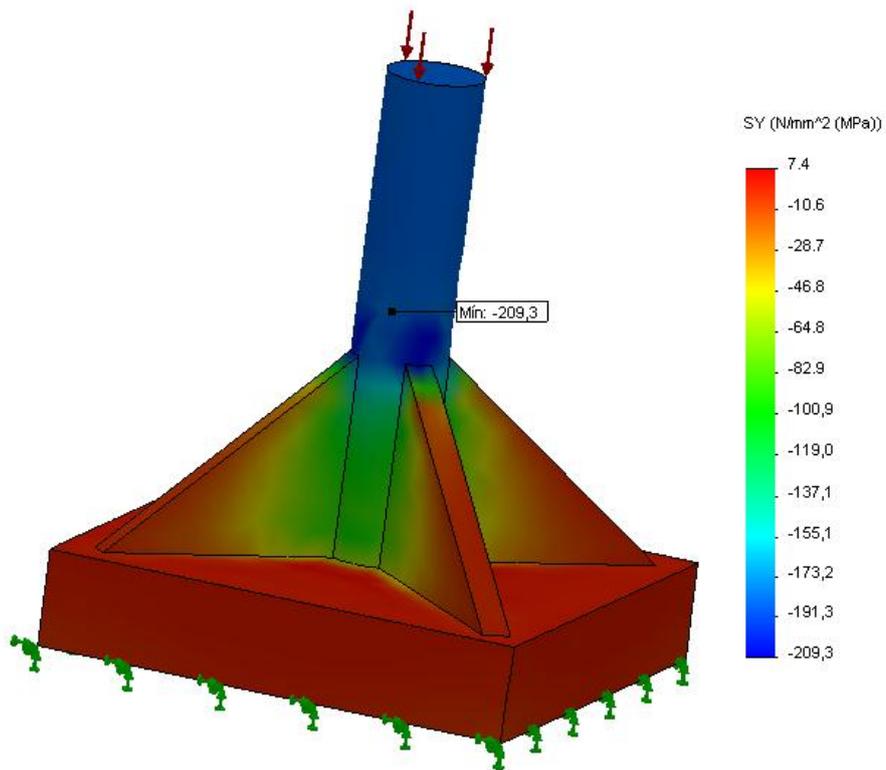


Fig. 3.22- Tensiones normales en el de compresión del pistón.

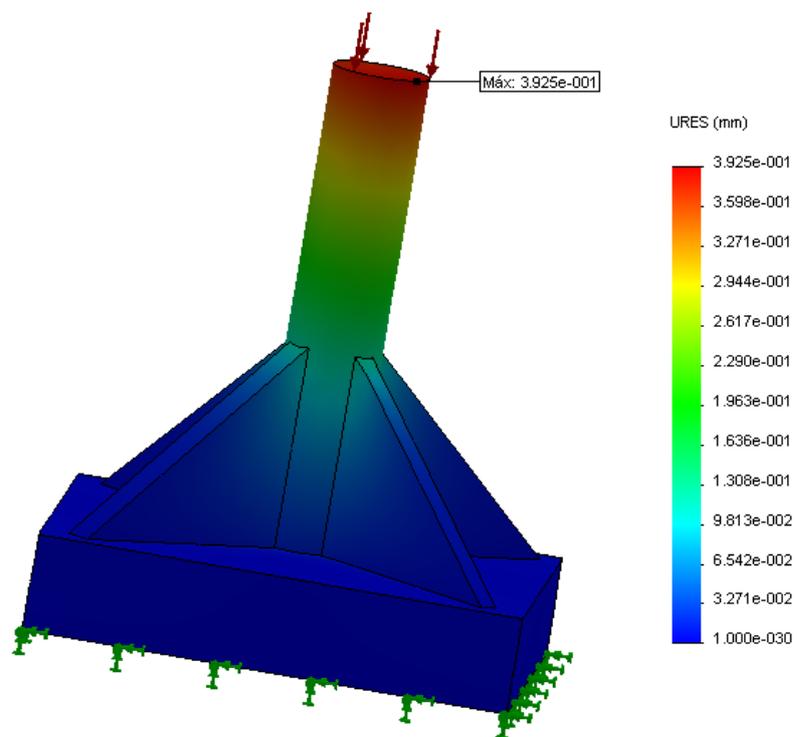
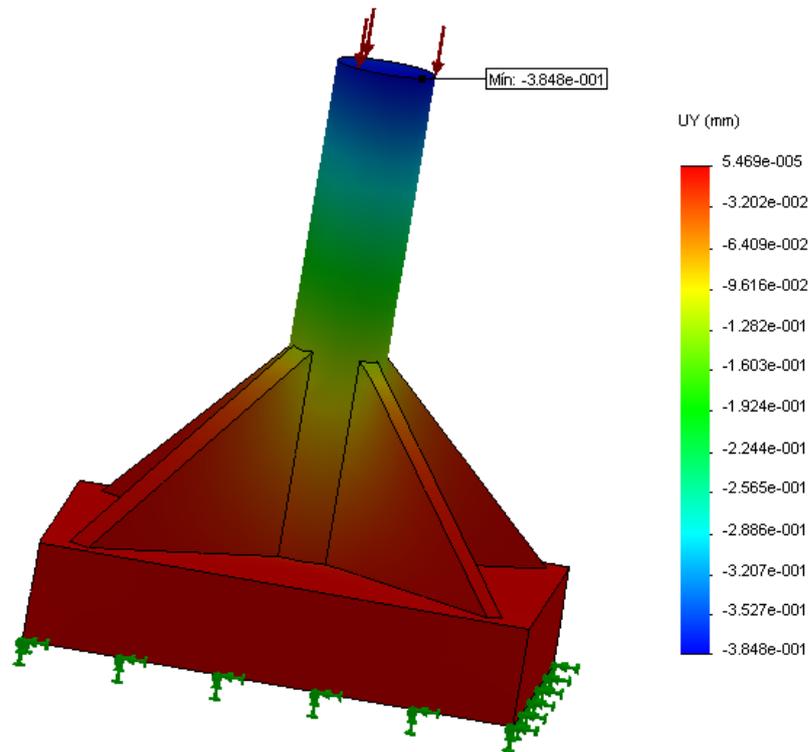


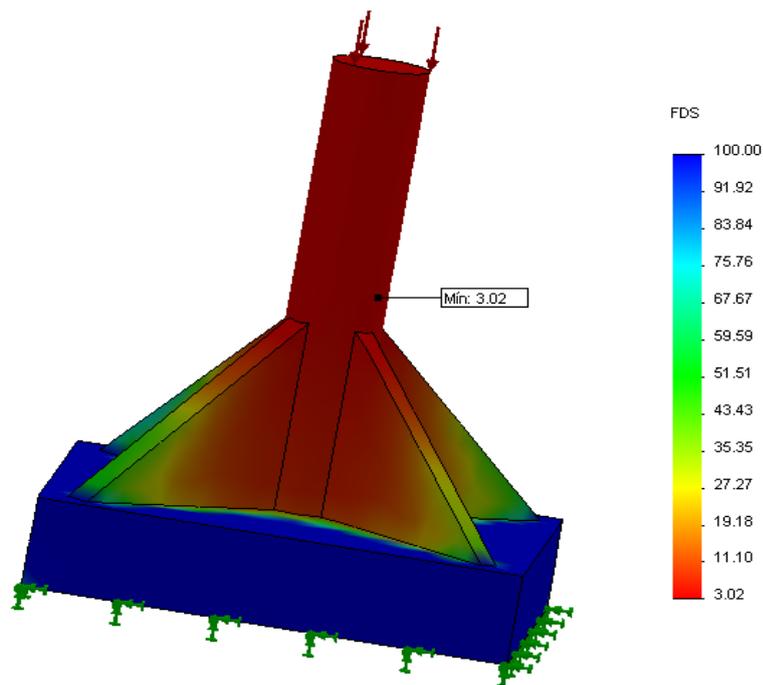
Fig. 3.23- Desplazamientos resultantes en el pistón.

Los desplazamientos en el eje de compresión de esta pieza fueron muy similares a los resultantes con un valor máximo de 0,38 mm en dirección contraria al eje de compresión y encontrándose en la parte superior de la barra del pistón (ver figura 3.24).



**Fig. 3.24- Desplazamientos en el eje de compresión del pistón.**

En el análisis del factor de seguridad del pistón se tuvo que el valor mínimo fue de 3,02 estando por encima de los valores recomendados por las bibliografías especializadas para estos de tipos de casos. Este valor se encontró en la barra del pistón cercano a uno de los nervios que liberan tensiones (ver figura 3.25).



**Fig. 3.25-Factor de seguridad del pistón.**

Una vez analizados los resultados de los estudios estructurales de análisis por elementos realizados al prototipo de compactadora se pudo apreciar que desde el punto de vista estructural este prototipo resiste a los esfuerzos a los que estará sometido en su destino de servicio por lo que los materiales y las dimensiones propuestos son idóneos para la fabricación de este prototipo.

## **CONCLUSIONES.**

- Se modelaron y ensamblaron las piezas pertenecientes al prototipo de compactadora.
- Se realizó el análisis estructural del prototipo de compactadora por el método de los elementos finitos.
- Los estudios realizados al prototipo de compactadora permitieron conocer que las dimensiones y materiales designados cumplen con las condiciones necesarias para su fabricación y funcionamiento dentro de los parámetros de diseño de este tipo de equipos.

## **RECOMENDACIONES.**

- Realizar un diseño más compacto y resistente para las condiciones de servicio a que estará sometido el prototipo de compactadora.
- Realizar los planos de detalle y ensamble de cada una de las piezas del prototipo de compactadora.
- Proponer una tecnología de fabricación para el prototipo de compactadora con parámetros económicos – funcionales eficiente

## BIBLIOGRAFIA.

1. BIODEGRADABLE. “Reciclaje de aluminio y otros metales”. [En línea]. Disponible en: <http://www.biodegradable.com.mx> [consulta 10 mayo 2011].
2. CALZADILLA Dubras, H. “Optimización del bastidor principal de un Alisador agrícola para el cultivo del arroz” [Tesis para optar por el título de master en CAD-CAM]. Universidad de Holguín, CE: CAD/CAM, 2005.
3. CAPITULO 2. “Tipos de compactadoras de chatarra”. [En línea]. Disponible en: <http://www.espe.edu.ec> [consulta 11 mayo 2011].
4. CAPITULO 3. “Definición de características de diseño”. [En línea]. Disponible en: <http://www.espe.edu.ec> [consulta 11 mayo 2011].
5. CAPITULO 4. “Solid Works”. [En línea]. Disponible en: <http://www.espe.edu.ec> [consulta 11 mayo 2011].
6. CARNICERO, A. “Introducción al método de los elementos finitos”
7. CHEUNG, Zienkiewicz. “The Finite Element Method in Structural and Continuum Mechanics”, Mc Graw-Hill, London. 1967.
8. COURANT. “Variational methods for the solution of problems of equilibrium and vibrations, Bulletin of American Mathematical Society”, 1943, 49, p1-43.
9. EL CICLO DEL RECICLAJE DEL ALUMINIO. [En línea]. Disponible en: <http://www.yolimpio.com/pdf> [consulta 10 mayo 2011].
10. EL RECICLADO DEL ALUMINIO Y LA ECOLOGIA. “Reciclabilidad”. [En línea]. Disponible en: <http://www.ingenieroambiental.com> [consulta 14 abril 2011].
11. ESTRADA Cingualbres, R. “Herramientas Informáticas aplicadas al diseño mecánico avanzado” [Curso]. Universidad de Holguín, 2006.
12. GONZÁLEZ Yomar, A.; Falcón Othman; Cerrolaza, Miguel E. “Diseño, Análisis y Fabricación de una Placa Angulada para Tratamiento Ortopédico en Niños Afectados por Parálisis Cerebral”. 2005.
13. GREINER, G. “Graphical algorithms”. University of Erlangen – Nuremberg. Chapter 2 “Meshes and triangles”. July 2000, p33 – 68
14. JIMENEZ, J., Rosas O. “Diseño de una máquina compactadora de chatarra de aluminio para producir pacas de 65 kg” [Tesis para optar por el título de ingeniero mecánico]. Escuela Politécnica Nacional, Quito 2009.

15. LASTRE Aliaga, A. M. "Proyección de los procesos tecnológicos" [Conferencia Maestría CAD/CAM]. Centro de Estudios CAD/CAM, Universidad de Holguín, 2010.
16. MARTEL O., Blanco F., Carta J.A., Mentado B., Monopoli D. VII Congreso Iberoamericano de Ingeniería Mecánica. México, Octubre 2005. "Análisis mecánico comparativo de los dispositivos placa DHS y clavo intramedular en el tratamiento de las fracturas proximales de fémur".
17. MORO M. "Tecnologías de fabricación". Apuntes preparados a partir de Serope Kalpakjian y Steven R. "Manufactura, ingeniería y tecnología". México. 2002.
18. ODEN. "Some aspects of recent contributions to the mathematical theory of finite elements". Advances in Computational. Methods in Structural Mechanics and Design, University of Alabama Press, Huntsville. 1972.
19. PROPIEDADES DE LOS METALES. "Propiedades físicas y mecánicas". [En línea]. Disponible en: <http://www.utp.edu.co> [consulta 13 junio 2011].
20. PRZEMIENIECKI. "Theory of Matrix Structural Analysis", Mc GRaw-Hill, New York. 1968.
21. QUE ES RECICLAR. [En línea]. Disponible en: <http://www.biodegradable.com.mx> [consulta 10 mayo 2011].
22. RECICLADO DE PAPEL. Microsoft Encarta 2009. 1993-2008 Microsoft Corporation [consulta 21 abril 2011].
23. RECICLADO DE VIDRIO. Microsoft Encarta 2009. 1993-2008 Microsoft Corporation [consulta 21 abril 2011].
24. RECICLAJE DE ALUMINIO. "Ventajas". [En línea]. Disponible en: <http://es.wikipedia.org> [consulta 10 mayo 2011].
25. RECICLAJE DE METALES. "Introducción". [En línea]. Disponible en: <http://recyclingbilingue.juniorwebaward.ch/pdf> [consulta 5 mayo 2011].
26. RECICLAJE. [En línea]. Disponible en: <http://www.ded.org.ec> [consulta 23 marzo 2011].
27. RECICLAJE. "Reciclado de aluminio". [En línea]. Disponible en: <http://www.costaricareciclaje.com> [consulta 10 mayo 2011].
28. RECICLAJE. "Reciclaje de metales". [En línea]. Disponible en: <http://www.costaricareciclaje.com> [consulta 10 mayo 2011].

29. RECICLAJE. “Regla de las tres erres”. [En línea]. Disponible en: <http://es.wikipedia.org> [consulta 10 mayo 2011].
30. SHIGLEY Joseph, E., Mischke C. “Diseño en ingeniería mecánica”. México: Editorial Tierra firme. 1990. Quinta edición (cuarta en español).
31. TAYLOR, Zienkiewicz. “El método de los Elementos Finitos”. Mc Graw-Hill. CIMNE. Barcelona .1994.
32. TCHOBANOGLOUS, G, Theissen, H, Eliassen R. DESECHOS SOLIDOS, PRINCIPIOS DE LA INGENIERÍA Y ADMINISTRACION, Mérida-Venezuela, 1982
33. TURNER, Clough, Martin y Topp. “Stifness and deflection analysis of complex structures”. Journal of Aeronautical Sciences, 1956, 23, p805-824.
34. ZIENKIEWICZ, Holister. “Stress Analysis”, John Wiley, London. 1966.