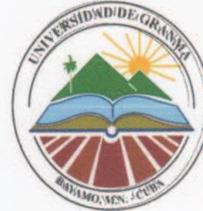




UNIVERSIDAD DE GRANMA

**Facultad de Ciencias Técnicas
Departamento 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 POR EL MÉTODO DE LOS ELEMENTOS FINITOS DE UN MECANISMO DE PALANCAS PARA UNA COMPACTADORA DE ALUMINIO”

Diplomantes: Fausto Wilfrido Coque Acosta
Klennir Bartolo Pérez Cobos

TUTORES: M.Sc.Ing. Yusimit Karina Zamora Hernández
M.Sc.Ing. Yoandrys Morales Tamayo

Yoandrys Morales Tamayo



BAYAMO. M.N. 2013
“Año de 55 de la Revolución”

LATACUNGA-ECUADOR 2013
“Por la vinculación de la Universidad con el Pueblo”



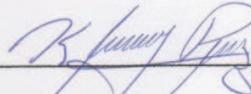
DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Nosotros **COQUE ACOSTA FAUSTO WILFRIDO**, con cédula de ciudadanía No. **050277637-0**, de nacionalidad ecuatoriana, y **KLENNIR BARTOLO PÉREZ COBOS** con cédula de ciudadanía No. **120528277-3** de nacionalidad ecuatoriana, actuando en nombre propio, en calidad de autores de la tesis denominada: **DISEÑO Y ANÁLISIS ESTRUCTURAL POR EL MÉTODO DE LOS ELEMENTOS FINITOS DE UN MECANISMO DE PALANCAS PARA UNA COMPACTADORA DE ALUMINIO**; autorizamos a las Universidades Técnica de Cotopaxi y Granma, para que utilicen y usen en todas sus formas el presente trabajo.

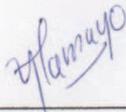
Como autores declaramos que la obra objeto de la presente autorización es de nuestra exclusiva autoría y nos detentamos la titularidad sobre la misma



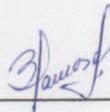
Coque Acosta Fausto Wilfrido



Pérez Cobos Klennir Bartolo



M.Sc.Ing. Yoandrys Morales Tamayo



M.Sc. Ing. Yusimit K. Zamora Hernández



AVAL DEL DIRECTOR DE TESIS

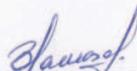
En calidad de Tutor de Trabajo de Investigación sobre el Tema **"DISEÑO Y ANÁLISIS ESTRUCTURAL POR EL MÉTODO DE LOS ELEMENTOS FINITOS DE UN MECANISMO DE PALANCAS PARA UNA COMPACTADORA DE ALUMINIO"** de los Autores **FAUSTO WILFRIDO COQUE ACOSTA** y **KLENNIR BARTOLO PÉREZ COBOS**, quienes son Diplomantes de la Universidad Técnica de Cotopaxi, Ecuador, de la Especialización de **INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**, considero que dicho Proyecto Investigativo cumple con los requerimientos Metodológicos y aportes Científicos – Técnicos suficientes, por lo que autorizo su presentación de acto de defensa en la Facultad de **CIENCIAS TÉCNICAS** de la Universidad de Granma.

Designo para su correspondiente estudio y clasificación.

Bayamo – Cuba a 28 de Junio del 2013



M.Sc. Yoandrys Morales Tamayo
TUTOR



M.Sc. Yusimit Karina Zamora Hernández
TUTOR



MS-17

**UNIVERSIDAD DE GRANMA
ACTA DE DEFENSA DE TRABAJO DE DIPLOMA**

Nombre (s) y apellidos del estudiante: KLÉNDIR BARTOLO PÉREZ COBOS

De acuerdo con la Resolución Ministerial 210 / 07 del Ministro de Educación Superior y la convocatoria librada por el Decano, se constituye el tribunal integrado por:

Presidente: M.SC. ING. ROBERTO BELTRÁN REYNA

Secretario: ING. ALEXIS ALVAROZ CABRALLES

Vocal: M.SC. ING. YOAN RAMOS BOTELLO

Fungiendo como Tutor: M.SC. ING. YUSIMIT K. ZAMORA HERNÁNDEZ
M.SC. ING. YOANDRYS MORALES TAMAYO

y como Oponente: M.SC. ING. JORGE A. BOSCH CABRERA

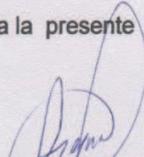
para evaluar en este acto público el Trabajo de Diploma que tiene por título:

DISÑO Y ANÁLISIS ESTRUCTURAL POR EL MÉTODO DE LOS
ELEMENTOS FINITOS DE UN MECANISMO DE PALANCAS
PARA UNA COMPACTADORA DE ALUMINIO

Una vez escuchadas la exposición del estudiante, del Tutor, del Oponente y las preguntas planteadas, el tribunal emite la calificación de 5 puntos y formula las siguientes conclusiones y recomendaciones:

PUBLICAR LOS RESULTADOS EN REVISTAS DE 3º NIVEL

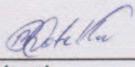
Y para que así conste en el expediente académico del mencionado estudiante, se expide y firma la presente Acta a los 28 días del mes de JUNIO año 2013



Presidente



Secretario



Vocal

Ejemplar único para archivar en el expediente académico del estudiante.



**Universidad de Granma
Facultad de Ciencias Técnicas
Dpto. de Ciencias Técnicas**

**Opinión del tutor sobre el trabajo de diploma en opción al título de Ingeniero
Electromecánico.**

Datos del Tutor:

- ♦ Nombres y apellidos: M.Sc. Ing. Yusimit Karina Zamora Hernández
M.Sc. Ing. Yoandrys Morales Tamayo
- ♦ Centro de Trabajo: Facultad de Ingeniería de la Universidad de Granma.

Título de la tesis: Diseño y análisis estructural por el método de los elementos finitos de un mecanismo de palancas para una compactadora de aluminio.

Autores: Fausto Wilfrido Coque Acosta
Klennir Bartolo Pérez Cobos

Actualidad e importancia del tema.

El tema desarrollado tiene una gran importancia y actualidad ya que enmarca los esfuerzos que se realizan en el mundo por tener una cultura del reciclaje y con ello un mundo más limpio, teniendo un aporte económico desde el punto de vista cualitativo ya que con el reciclaje de metales y en especial el del aluminio se contribuye al ahorro y a la disminución de costos a la hora de la fabricación. También contribuye al ahorro energético ya que en una tonelada de aluminio reciclada se consume solo el 5% en comparación con una tonelada extraída del mineral. El diseño de mecanismos para compactadoras de chatarras de aluminio ajustadas a la industria del reciclaje en el Ecuador repercute en la fabricación de equipos contribuyendo a un ahorro económico al eliminar gastos por compras de dichas empresas y disminuir gastos por transportación, además de tener un mayor control y cultura del reciclaje en dicho país y con ello un funcionamiento más exitoso de dichas entidades contribuyendo a la sustitución de importaciones en el sector.

• **Características de la investigación y valor de los resultados.**

Se trata de una investigación aplicada donde los resultados tienen posibilidad de ser tomados en cuenta como patrón y forman parte del ciclo de vida de la fabricación de un producto, dichos resultados podrán ser generalizados, con resultados económicos beneficiosos para las entidades que lo apliquen.

• **Utilización y pertinencia de la bibliografía.**

Se considera que se hace un buen uso de la bibliografía para este tipo de investigación, la cual es correctamente referenciada en el cuerpo de la tesis,

• **Estructura y presentación.**

La estructura dada a la tesis está acorde a las normas establecidas en la Guía para proyectos de curso y trabajos de diplomas de la carrera en la Universidad donde se realizó la investigación. El Resumen está en correspondencia con el tema de investigación desarrollado. La tesis tiene una buena calidad de presentación al igual que las figuras y tablas que aparecen en la misma.

• **Novedad de la Investigación y valor de los resultados**

En la investigación se diseña y se analiza el mecanismo de palancas para una compactadora de aluminio en un software de diseño de gran aceptación en el mundo por los usuarios CAD y empresas especializadas para luego realizar un análisis estructural por el método de los elementos finitos. El análisis efectuado al mecanismo para la compactadora de aluminio permitió conocer que las dimensiones y materiales designados cumplen con las condiciones necesarias para su funcionamiento dentro de los parámetros de diseño de este tipo de equipos.

Para seleccionar y diseñar el mecanismo de compactadora para chatarra de aluminio se partió primeramente de estudios a mecanismos de compactadoras con funciones similares, se desglosaron los diferentes tipos de compactadoras por tamaño, funciones, formas de comprimir y cantidad de fuerza que ejercen para compactar.

Se realiza un uso adecuado de software en función de lograr el objetivo que se persigue. Los diplomantes dieron respuesta y solución al problema presentado en la investigación, demostrando haber adquirido con profundidad los conocimientos necesarios a lo largo de la carrera y en la etapa de la investigación.

Por todo lo expuesto anteriormente considero y le pido al tribunal aquí presente que los diplomantes Fausto Wilfrido Coque Acosta y Klennir Bartolo Pérez Cobos reúnen las condiciones para que le sea otorgado el título de Ingeniero Electromecánico.

Zamora



Tamayo

MSc. Ing. Yusimit K Zamora Hernández

MSc. Ing. Yoandrys Morales Tamayo

. Tutores

Universidad de Granma, Cuba 27 de Junio 2013



Elepe

Universidad de Granma
Facultad de Ciencias Técnicas
Dpto. Ciencias Técnicas

Datos del Oponente:

- ♦ Nombres y apellidos: Jorge Alexander Bosch Cabrera
- ♦ Categoría Docente o Científica: Master en Ciencias, profesor asistente
- ♦ Especialista en: Diseño y fabricación asistido por computadora.
- ♦ Centro de Trabajo: Universidad de Granma

Opinión del oponente sobre el trabajo de Diploma en opción al título de Ingeniero Electromecánico.

Título de la tesis: Diseño y análisis estructural por el método de los elementos finitos de un mecanismo de palancas para una compactadora de aluminio.

Diplomantes: Fausto Wilfrido Coque Acosta

Klennir Bartolo Pérez Cobos

Tutores: MSc. Ing. Yusimit Karina Zamora Hernández

MSc. Ing. Yoandrys Morales Tamayo

• **Actualidad e importancia del tema.**

El tema desarrollado posee gran importancia ya que da culminación a la fase de diseño de un proyecto con objetivos medioambientales como lo es la compactadora para chatarras de aluminio. La investigación se enmarca en los esfuerzos que se realizan en pos de buscar nuevas soluciones en las pequeñas empresas y a su vez crear una cultura medioambiental del reciclaje, buscando alternativas para la obtención de materias prima y se disminuyan los costos de obtención del producto siendo en este caso el aluminio. Si se tiene un cálculo aproximado de que se consumen unos 25 millones de toneladas en todo el mundo por año estando principalmente localizadas en la industria de consumo por ello el reciclaje de este material economiza un 95% de energía, de ahí la vital necesidad de reciclarlo.

Características de la investigación y valor de los resultados.

Se trata de una investigación aplicada donde los resultados tienen posibilidad de ser tomados en cuenta para el diseño de máquinas similares.

• **Utilización y pertinencia de la bibliografía.**

El informe posee 37 referencias bibliográficas distribuidas en el cuerpo de la tesis estando todas las bibliografías expuestas en el mismo. De ellas 5 son idioma Ingles, 17 son de los últimos 5 años y 22 de los últimos 10 años, el ordenamiento se encuentra organizado por orden de aparición como expresan las normas pertinentes, tiene 3 bibliografías sin el año de publicación.

Estructura y presentación.

La estructura dada a la tesis está acorde a las normas establecidas según la Guía para proyectos de cursos y trabajos de diploma de la carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Granma constando con resumen, introducción, tres capítulos, conclusiones y recomendaciones. El Resumen está en correspondencia con el tema de investigación desarrollado. La tesis tiene una buena calidad de presentación y las figuras y tablas presentan una buena calidad. Cumple con lo establecido en la Instrucción No. 1/09 con un adecuado uso de la ortografía.

• Señalamientos críticos y preguntas.

- En la página 6 del capítulo 1 utiliza la palabra esta cuando es en realidad está según el contexto de la oración.
- En la figura 1.10 de la página 19 se refiere a una compactadora horizontal cuando en realidad es una vertical.

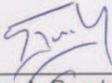
• Conclusiones.

No obstante los elementos anteriormente señalados no afectan el contenido y el objetivo de la investigación, considerando que el trabajo posee aportes y utilidad práctica, y puede dar paso a otras investigaciones.

Los diplomantes han demostrado haberse apropiado de los conocimientos necesarios para desarrollar una investigación de este tipo con un manejo adecuado de las herramientas convencionales y de la informática y especializándose en software de diseño asistido por computadoras.

Por todos los elementos anteriormente expuestos y teniendo en cuenta que los señalamientos expuestos no afectan la calidad de la investigación considero que el trabajo es válido y le solicito al tribunal aquí presente que a sus autores Fausto Wilfrido Coque Acosta y Klennir Bartolo Pérez Cobos se les otorge el título de Ingeniero Electromecánico.

28 de Junio 2013.


MS.c. Ing. Jorge A. Bosch Cabrera
(Oponente)



PREGUNTAS DEL Oponente

PREGUNTA 1

¿Podría usted decirme cuales son las semejanzas y las diferencias entre una prensa compactadora de virutas y una prensa compactadora de chatarras?

PREGUNTA 2

Bajo que criterio conceptual de diseño usted se decide por la variante diseñada y por qué.

PREGUNTA 3

Como garantiza usted la velocidad de giro del motor que accionará el mecanismo con 17 rev/min ya que estos dispositivos trabajan generalmente a altas velocidades de giro.

PREGUNTA 4

¿Por qué no se tiene en cuenta la pieza cigüeñal para el estudio estático, ni se representan las restricciones en los muñones de dicha pieza siendo estos los elementos de apoyo del mecanismo?



UNIVERSIDAD DE GRANMA

**Facultad de Ciencias Técnicas
Departamento 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

**DISEÑO Y ANÁLISIS ESTRUCTURAL POR EL MÉTODO DE LOS
ELEMENTOS FINITOS DE UN MECANISMO DE PALANCAS PARA
UNA COMPACTADORA DE ALUMINIO**

FAUSTO WILFRIDO COQUE ACOSTA

KLENNIR BARTOLO PÉREZ COBOS

BAYAMO. M.N. 2013

“Año de 55 de la Revolución”

LATACUNGA-ECUADOR 2013

“Por la vinculación de la Universidad con el Pueblo”



UNIVERSIDAD DE GRANMA

**Facultad de Ciencias Técnicas
Departamento 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 POR EL MÉTODO DE LOS ELEMENTOS FINITOS DE UN MECANISMO DE PALANCAS PARA UNA COMPACTADORA DE ALUMINIO”

Diplomantes: Fausto Wilfrido Coque Acosta
Klennir Bartolo Pérez Cobos

TUTORES: M.Sc.Ing. Yusimit Karina Zamora Hernández
M.Sc.Ing. Yoandrys Morales Tamayo

BAYAMO. M.N. 2013
“Año de 55 de la Revolución”

LATACUNGA-ECUADOR 2013
“Por la vinculación de la Universidad con el Pueblo”

AGRADECIMIENTO

En primer lugar a Dios por haberme guiado al camino de la felicidad y llenarme de fortaleza para culminar con mis metas propuestas a lo largo de mi formación profesional.

A mi familia que siempre me apoyaron, en los buenos y malos momentos quienes cumplieron un papel muy importante en la toma de decisiones, su apoyo fue de mucha importancia para culminar el desarrollo de este proyecto.

A mis maestros quienes supieron brindarme gran parte de sus conocimientos, gracias a su paciencia y enseñanza me han preparado para un futuro competitivo y formándome como personas de bien.

El más sincero agradecimiento a la Universidad Técnica de Cotopaxi, por acogerme en esa noble institución quien me ha guiado en mi formación Profesional.

FAUSTO WILFRIDO COQUE ACOSTA

DEDICATORIA

A mis padres Fausto y María quienes fueron los pilares fundamentales de mi vida ya que supieron guiarme en mis momentos difíciles siendo mi apoyo en todo momento y ayudándome a sobresalir en los retos que se me presentaban sin dudar ni un solo momento de mi capacidad, y así llegar a tener la mejor herencia que me pudieran brindar, una profesión.

A mi esposa Janeth y mi hija Emily, jamás hubiese podido conseguir el sueño más anhelado de toda mi vida; su apoyo incondicional su confianza y lucha me dieron la fuerza necesaria para llegar a conseguir mi meta final ser un ingeniero.

A mis hermano Belisario, Gladys, Washington, Nelson, Diego y Paul con quienes pase los mejores años de mi vida; y siempre me brindaron el apoyo para seguir adelante en mis estudios y culminar con éxito mis metas propuesta.

A mis grandes amigos Bernardo, Danilo, José y Diego quienes fueron las personas con quien compartí los mejores momentos de mi vida estudiantil universitaria.

FAUSTO WILFRIDO COQUE ACOSTA

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Nosotros **COQUE ACOSTA FAUSTO WILFRIDO**, con cédula de ciudadanía No. **050277637-0**, de nacionalidad ecuatoriana, y **KLENNIR BARTOLO PÉREZ COBOS** con cédula de ciudadanía No. **120528277-3** de nacionalidad ecuatoriana, actuando en nombre propio, en calidad de autores de la tesis denominada: **DISEÑO Y ANÁLISIS ESTRUCTURAL POR EL MÉTODO DE LOS ELEMENTOS FINITOS DE UN MECANISMO DE PALANCAS PARA UNA COMPACTADORA DE ALUMINIO**; autorizamos a las Universidades Técnica de Cotopaxi y Granma, para que utilicen y usen en todas sus formas el presente trabajo.

Como autores declaramos que la obra objeto de la presente autorización es de nuestra exclusiva autoría y nos detentamos la titularidad sobre la misma

Coque Acosta Fausto Wilfrido

Pérez Cobos Klennir Bartolo

M.Sc.Ing. Yoandrys Morales Tamayo

M.Sc. Ing. Yusimit K. Zamora Hernández

RESUMEN

Esta investigación tiene como objetivo diseñar y analizar el mecanismo de palancas para una compactadora de aluminio. Se realizó una revisión bibliográfica para seleccionar la posición y el tipo de mecanismo accionador de la compactadora. Los elementos del mecanismo se modelaron con el software *SolidWorks* 2012, además se utilizó el módulo de cálculo por elementos finitos *Simulation* y el de análisis de movimiento *SolidWorks Motion*, para realizar un análisis estático y cinemático respectivamente. Las tensiones de Von Mises obtenidas en el estudio realizado se encuentran por debajo del límite elástico estando el factor de seguridad en los niveles aceptables de fiabilidad del diseño. Se determinaron las velocidades y aceleraciones del par cinemático biela-cigüeñal y del pistón. El análisis efectuado al mecanismo para la compactadora de aluminio permitió conocer que las dimensiones y materiales designados cumplen con las condiciones necesarias para su funcionamiento dentro de los parámetros de diseño de este tipo de equipos.

ABSTRACT

This investigation aims to design and to analyze the mechanism of bar for a compactadora of aluminum. In order to select the position and the type of mechanism actuator of the compactadora was made a bibliographic revision. The elements of the mechanism was modeled with the software SolidWorks 2012, in addition to that used by the calculation module of calculation for finite elements Simulation and the one of analysis of motion SolidWorks Motion in order to accomplish a static and kinematic analysis respectively. Von Mises tensions obtained in the study find underneath the elastic limit being the safety factor in the acceptable levels of reliability of the design. Velocities and accelerations of the kinematic pair connecting rod –crankshaft and of the piston were determined. The analysis the mechanism was made for the compactadora of aluminum allowed knowing that dimensions and designate materials fulfill the necessary conditions for their functioning within the parameters of suchlike design of teams.

TABLA DE CONTENIDOS

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES Y ESTADO ACTUAL DE LAS MÁQUINAS	
COMPACTADORAS DE METALES	4
1.1 GENERALIDADES HISTÓRICAS DE LA PRENSA.....	4
1.2 CLASIFICACIÓN DE LAS PRENSAS.....	5
1.3 APLICACIONES DE LAS PRENSAS	7
1.3.1 Prensa inclinada.....	7
1.3.2. Prensa de escote	8
1.3.3. Prensa de puente	8
1.3.4. Prensa de costados rectos.....	9
1.3.5. Prensa de yunque	10
1.3.6. Prensa de junta articulada.....	11
1.3.7. Prensa dobladora.....	12
1.3.8. Prensa hidráulica.....	13
1.4 COMPACTADORAS PARA METALES.....	15
1.5 TIPOS DE COMPACTADORAS	18
1.7 DISEÑO DE COMPACTADORAS	19
1.8 RECICLAJE.....	21
1.9 RECICLAJE DE ALUMINIO.....	22
1.10 INTRODUCCIÓN A LOS SOFTWARE CAD	23
1.10.1 SolidWorks	25
1.11 INTRODUCCIÓN AL MÉTODO DE LOS ELEMENTOS FINITOS (MEF).....	26
1.11.1 Conceptos generales del método de los elementos finitos	27
1.11.2 Análisis del Cosmos Works.....	28
1.12 MÉTODOS PARA EL ANÁLISIS DE LA SÍNTESIS DE MECANISMOS	28
CAPÍTULO 2: MATERIALES Y MÉTODOS	32
2.1 ESTUDIO DE LOS MECANISMOS DE COMPACTADORAS CON FUNCIONES SIMILARES.....	32
2.2 MODELACIÓN DE LOS ELEMENTOS CON SUS DIMENSIONES EN EL SOFTWARE DE DISEÑO CAD.	32
2.3 ENSAMBLE DEL MODELO DEL MECANISMO DE LA COMPACTADORA.	34

2.4 ANÁLISIS CINEMÁTICO DEL MECANISMO DE LA COMPACTADORA	34
2.5 ASIGNACIÓN DE LOS MATERIALES Y SUS PROPIEDADES A CADA PIEZA.	34
2.6 ASIGNACIÓN DE LOS TIPOS DE CONTACTOS ENTRE COMPONENTES.....	34
2.7 ASIGNACIÓN DE LAS CARGAS Y RESTRICCIONES PRESENTES EN LOS MODELOS	34
2.8 MALLADO DE LOS ELEMENTOS DEL MECANISMO DE LA COMPACTADORA.....	35
2.9 ESTUDIO DEL MODELO DEL MECANISMO DE LA COMPACTADORA POR EL MÉTODO DE LOS ELEMENTOS FINITOS.....	36
CAPÍTULO 3: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS DEL MECANISMO DE LA COMPACTADORA DE ALUMINIO.....	37
3.1 ESTUDIO DE LOS MECANISMOS DE COMPACTADORAS CON FUNCIONES SIMILARES.	37
3.2 MODELACIÓN DE LAS PIEZAS CON SUS DIMENSIONES EN EL SOFTWARE DE DISEÑO CAD.	37
3.3 ANÁLISIS DEL ENSAMBLE DEL MECANISMO DE LA COMPACTADORA.....	39
3.4 ANÁLISIS CINEMÁTICO DEL MECANISMO DE LA COMPACTADORA.....	40
3.5 PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LOS MATERIALES DE CADA MODELO DE PIEZA.	41
3.6 ANÁLISIS DE LOS TIPOS DE CONTACTOS ENTRE COMPONENTES.....	42
3.7 ANÁLISIS DE LAS CARGAS Y RESTRICCIONES PRESENTES EN LOS MODELOS.	42
3.8 MALLADO DE LOS MODELOS.....	43
3.9 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS PARA LOS DOS ESTUDIOS.	44
CONCLUSIONES	53
RECOMENDACIONES	54
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	55

INTRODUCCIÓN

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 de forma generalizada. Se tiene un cálculo aproximado de que se consumen unos 25 millones de toneladas en todo el mundo por año.

El aluminio se extrae del mineral de bauxita, este elemento es el metal más abundante en la tierra. Para fabricar una tonelada de aluminio se deben extraer cuatro toneladas de bauxita, durante el procedimiento se producirán casi dos toneladas de "barros rojos" que son óxidos de hierro y óxidos de titanio los cuales tienen una representación muy grave de contaminación en el ambiente [1].

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 los nuevos productos del mismo. Si se recicla y recolecta correctamente los residuos se podrá ahorrar mineral y energía en gran cantidad.

El aluminio es el residuo que presenta la 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 bebidas, tapas, latas de conservas, grapas, papel aluminio, alambre, ganchos de ropa, además el aluminio grueso proveniente del sector de la construcción como perfiles de ventanas, puertas, muebles de aluminio, tuberías y otros como partes de automóviles, camionetas o aviones.

Ante esta panorámica existe la necesidad de desarrollar proyectos de reciclaje en ciudades y países, motivo por el cual la presente investigación presenta el diseño del mecanismo de una máquina compactadora de chatarras de aluminio.

Este proyecto nace de la necesidad que se tiene dentro de las pequeñas y medianas empresas recicladoras de optimizar el proceso de transportación, ya que disminuyen los costos de traslado y se maximiza la cantidad que se transporta a la industria

fundidora 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 sobredimensionamientos en las máquinas [2]. De lo anteriormente se define como **problema científico**:

¿Cómo garantizar el movimiento adecuado del mecanismo del pistón de la compactadora para chatarra de aluminio?

Objeto de estudio: Máquinas conformadoras y compactadoras de metal.

Campo de Acción: Diseño y análisis de mecanismos de palancas para máquinas conformadoras y compactadoras de metal.

Hipótesis: Con el diseño y análisis del mecanismo de palancas se podrá garantizar el movimiento adecuado del mecanismo del pistón de la compactadora para chatarra de aluminio.

Objetivo general: Diseñar y analizar el mecanismo de palancas para una compactadora para chatarra de aluminio.

Objetivos Específicos:

- Modelar los elementos del mecanismo de palancas pertenecientes a la máquina compactadora de chatarras de aluminio.
- Modelar el ensamble del modelo.
- Analizar estructuralmente la máquina compactadora mediante el método de elementos finitos.
- Determinar la velocidad y la aceleración de cada uno de los elementos del mecanismo para el accionamiento de la compactadora de aluminio.
- Analizar los resultados finales.

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.

Resultados esperados:

- Lograr el correcto dimensionamiento del mecanismo de palancas para una compactadora de aluminio.

CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES Y ESTADO ACTUAL DE LAS MÁQUINAS COMPACTADORAS DE METALES

1.1 Generalidades históricas de la prensa.

Se ignora si en realidad fue Gutenberg (1394-1399-1468) el inventor de la primera prensa, o si la prensa que hizo construir en 1439 a Conrad Saspach no era más que una mejora de algún tipo de prensa ya existente, sin embargo la prensa que fue fabricada tenía un gran parecido con las prensas de husillo para exprimir uvas en la época.

La primera prensa de la que se tiene conocimiento (o al menos una de las primeras) es la usada en impresión tipográfica, precisamente por Gutenberg. La descripción de esta prensa es relativamente sencilla: sobre un mármol o platina inamovible y horizontal, se fijaba la forma de impresión, se entintaba mediante tampones y se cubría con una hoja de papel haciendo descender encima un plano mecánico o tímpano con la ayuda de un tornillo vertical; todas las piezas eran de madera. Esta prensa cuya fuerza motriz era suministrada por el impresor, alcanzaba una producción diaria de 250 hojas.

El procedimiento se siguió usando durante 4 siglos. En este tiempo hubo perfeccionamiento de detalles inherentes a los progresivos adelantos técnicos: tornillos metálicos, mármol móvil sobre guías que permitían el entintado fuera del plano.

En 1783, Francois Ambroise Didot (1730-1804), substituyó la platina de madera por la platina metálica. Posteriormente, hacia 1810, en Inglaterra, Charles Stanhope (1753-1816) hizo construir la primera prensa completamente metálica con un sobrepeso que equilibraba el plato: la producción alcanzó entonces de 2000 a 3000 hojas diarias.

A principios del siglo XIX con el empleo de la máquina de vapor suministrando la fuerza motriz, se construyeron máquinas más rápidas y potentes, siendo las primeras, respectivamente, la prensa mecánica para impresión en hojas de Friedrich Konig en 1811 y rotativas para papel en bobinas hacia 1860.

Las actuales prensas de impresión ofrecen importantes diferencias, aunque la mayoría son máquinas de producción en masa y tienen en común una determinada

cantidad de dispositivos que aseguran, por ejemplo, el entintado correcto, alimentación de papel, retirada de papel impreso, etc.

De lo anterior, la prensa como instrumento de producción masivo ha extendido sus horizontes a otros campos de aplicación y disciplinas como la ingeniería industrial, la ingeniería mecánica o la industria automotriz.

Dentro de esta rama de la actividad humana la prensa ha tenido un enorme desarrollo y aún sigue teniendo un gran potencial de aportación a la actividad industrial. La prensa tiene muchas aplicaciones y es difícil clasificarla, sin embargo, a lo largo de la historia de las prensas se han observado características muy importantes y con ese panorama se ofrece a continuación un primera clasificación [3, 4].

1.2 Clasificación de las prensas

Se tienen una gran cantidad y variedad de máquinas para casi cualquier proceso de manufactura o actividad técnica, que resulta prácticamente imposible mencionarlas todas en el presente trabajo, sin embargo una primera clasificación aproximada de las máquinas en general podría ser la siguiente:

- Máquinas eléctricas.
- Máquinas térmicas.
- Máquinas hidráulicas.
- Máquinas de control numérico computarizado
- Máquinas-herramienta[5]

Los elementos que constituyen un producto y que se encuentran laminados pueden ser cortados, doblados, troquelados, embutidos, etc. Las distintas maneras de obtenerlos, los variados aspectos y sus características tecnológicas han hecho que se construya infinidad de máquinas. La división genérica que comprende todos los tipos de máquinas-herramienta se menciona en el siguiente párrafo, y nuestro interés primordial está enfocado en conformadoras de metales. Este grupo puede clasificarse a su vez en dos grandes subgrupos[5]:

- Máquinas dotadas de movimiento giratorio continuo.
- Máquinas dotadas de movimiento rectilíneo.

Al grupo de máquinas dotadas de movimiento giratorio continuo pertenecen las siguientes:

- Laminadoras.
- Curvadoras.
- Perfiladoras, etc.

Al grupo de máquinas dotadas de movimiento rectilíneo pertenecen las siguientes:

- Prensas de excéntricas.
- Prensas de fricción.
- Prensas hidráulicas.
- Tijeras de guillotinas
- Máquinas rectas de doblar.

En el grupo genérico de interés y que a continuación se menciona es el de las prensas, por tanto la parte más importante. Las prensas dotadas de movimiento rectilíneo (prensas de excéntrica, de fricción, hidráulicas) pueden clasificarse en:

- Prensas verticales de simple efecto.
- Prensas verticales de doble efecto.
- Prensas guiadas en cuatro correderas
- Prensas de configuración especial.

Es difícil hacer una clasificación de las máquinas prensadoras, ya que la mayoría de ellas son capaces de desarrollar varios trabajos; consecuentemente, no es correcto llamar a una prensa dobladora, prensa de repujado, y aún a otra, prensa recortadora, pues los tres tipos de operaciones se pueden desarrollar en una máquina.

Una segunda clasificación sencilla esta en relación a la forma de operar o accionar la prensa, es decir referido a la transmisión de energía, esta puede ser operada manualmente o activada con potencia.

Las máquinas operadas manualmente se usan para trabajos en láminas delgadas de metal, principalmente en trabajos de campo, pero la mayor parte de la producción opera con potencia.

El segundo grupo de prensas, cuya clasificación se basa atendiendo a la fuente de energía que acciona a la prensa, puede a su vez subdividirse en tres grupos, según

esto, las prensas pueden dividirse en mecánicas (por el método de aplicación de la potencia al ariete), si la energía del motor eléctrico es convertida en energía mecánica; en hidráulicas, si los pistones (de sección distinta y deslizante dentro de la tubos comunicantes entre sí) son accionadas por un fluido, normalmente aceite; y por último neumáticas, en las cuales se convierte la energía neumática (aire comprimido) en energía mecánica. Estas prensas requieren o utilizan valores variables de energía, por ellos pueden ir provistas de acumuladores hidráulicos o volantes de energía.

Por último las prensas mecánicas se subdividen en:

- Biela-manivela.
- Leva.
- Excéntrica.
- Cremallera-piñón.
- Tornillo de potencia.
- Acodada.

Para seleccionar el tipo de prensa a usar en un trabajo dado, se deben considerar varios factores. Entre éstos están el tipo de operación a desarrollar, la forma constructiva y tamaño de la pieza, cantidad de piezas a fabricar, potencia requerida y la velocidad de operación. En las prensas del tipo biela-manivela o excéntrica la energía del volante se puede transmitir al eje principal [6], ya sea directamente o a través de un tren de engranajes. En otro caso la prensa de junta articulada tienen una carrera corta y es capaz de imprimir una fuerza tremenda [4, 7].

1.3 Aplicaciones de las prensas

Las aplicaciones de las prensas se basan en las características y posibilidades de desarrollar los trabajos; a continuación se relacionan las aplicaciones según el tipo de prensa.

1.3.1 Prensa inclinada

En la figura 1.1 se muestra una prensa inclinable de manivela. El bastidor inclinado de la máquina ayuda a descargar de la prensa las piezas y desperdicios. Las piezas se pueden deslizar por gravedad en una caja de carga, o el material se puede

alimentar a las matrices por medio de una canal. La mayoría de estas prensas son ajustables y varían su posición desde la vertical hasta un ángulo bastante inclinado.



Fig.1.1. Prensa inclinable de manivela [8].

Este arreglo se prefiere para el trabajo diversificado de las prensas, pues muchas tareas se hacen mejor con la prensa en posición vertical; particularmente si las piezas se descargan por la matriz.

Las prensas inclinables se utilizan frecuentemente en la producción de piezas pequeñas que implican doblado, punzonado, recortado y operaciones similares.

1.3.2. Prensa de escote

Las prensas de escote o de bastidor en C se llaman así debido a la posición de la abertura del bastidor de la prensa: tal diseño del bastidor se muestra en la figura 1.2 a), con algunos otros diseños comunes de bastidores. Las prensas de escote proporcionan un excelente espacio libre alrededor de las matrices y permiten trabajar con piezas largas o anchas. Las operaciones de estampado se pueden efectuar en una prensa de escote, usando frecuentemente la de tipo inclinable.

1.3.3. Prensa de puente

La prensa de puente ilustrada también en la figura 1.2 b), se denomina así por la forma peculiar de su bastidor. La parte más baja del bastidor, cerca de la bancada, es ancha, para permitir el trabajo en lámina de metal de áreas grandes y la parte superior es angosta. Los cigüeñales son pequeños en relación al área de la corredera y la bancada de la prensa, ya que estas prensas no están diseñadas para trabajo pesado. Se usan para recortado, doblado y desbarbado.

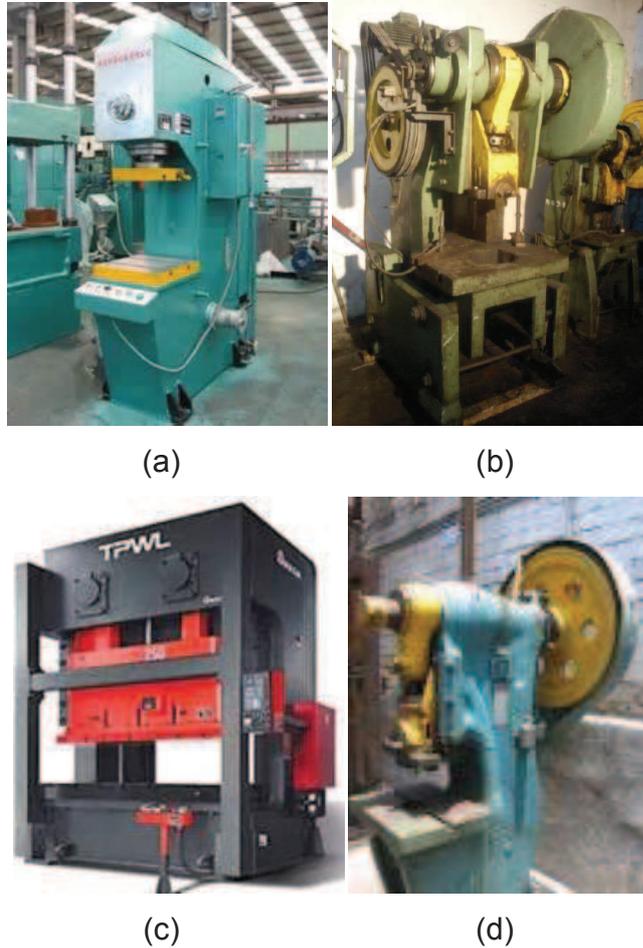


Fig.1.2. Diferentes tipos de prensas, (a) Prensa de escote, (b) prensa de puente, (c) Prensa de costados rectos y (d) prensa de yunque [8].

1.3.4. Prensa de costados rectos

Conforme aumenta la capacidad de una prensa, se hace necesario aumentar la resistencia y la rigidez del bastidor. Las prensas de costados rectos, ver figura 1.2 c) son más fuertes, pues las grandes fuerzas son soportadas hacia arriba en dirección vertical por los costados del bastidor; y hay poca tendencia a que la alineación de punzones y matrices se vea afectada por el esfuerzo. Estas prensas se encuentran disponibles para capacidades de 11MN. Las prensas de costados rectos se fabrican con diversos medios de suministros de energía y diferentes métodos de operación. Para las prensas más pequeñas, generalmente se usa una sola manivela o excéntrica, pero conforme aumenta el tamaño de la pieza, se necesitan manivelas

adicionales para distribuir la carga uniformemente en la corredera. Esta última se puede suspender en posición, ya sea por una, dos o cuatro guías o puntos de apoyo. Las prensas de doble efecto usadas ampliamente en las operaciones de embutido, tienen un ariete externo que procede al punzón y sujeta al habilitado antes de la operación de punzonado. El ariete externo es impulsado generalmente por un mecanismo especial de balancín o leva, mientras que el ariete anterior, que lleva el punzón, es un mecanismo de manivela.

En la figura 1.3 se muestra una gran prensa cerrada de costados rectos con palanca acodillada. La presión se aplica a la corredera en cuatro puntos. Esta es la ventaja característica de las prensas de áreas grandes debido a que tal construcción previene la inclinación de la corredera con cargas desequilibradas. El mecanismo de palanca acodillada en esta máquina es para controlar el movimiento del pisador del habilitado.

Los bastidores de costados rectos se usan también en las prensas hidráulicas en los que hay impacto de las cargas pesadas, tal como en el formado de materiales de calibre grueso, forjado en prensa, acuñado y embutido.

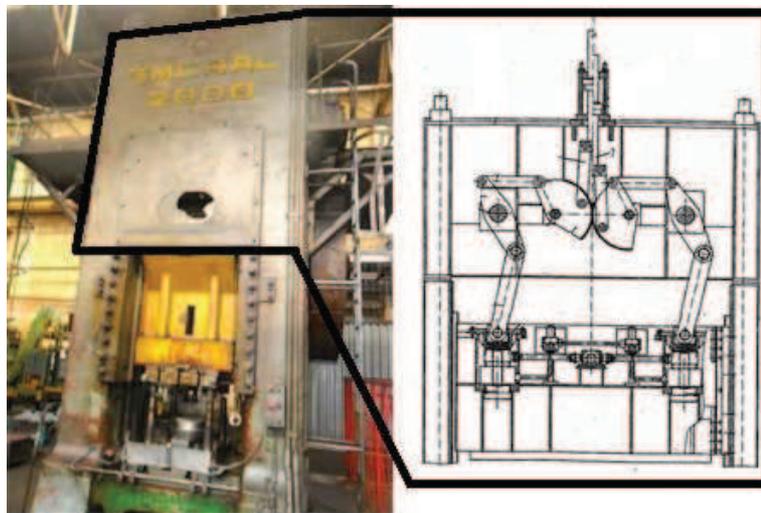


Fig.1.3. Prensa cerrada de costados rectos con palanca acodillada [8].

1.3.5. Prensa de yunque

Las prensas de yunque, como se ilustra en la figura 1.2 d), tienen un eje grueso que se proyecta desde el bastidor de la máquina, en lugar de la bancada ordinaria. Donde está provista de bancada, se acondiciona moviéndola hacia un lado al usar el

yunque. Esta prensa se usa principalmente con objetos cilíndricos que implican operaciones de empalmado, recorte de contornos, punzonado, remachado y repujado.

1.3.6. Prensa de junta articulada

Las prensas proyectadas para el acuñado, cilindrado y repujado fuerte, deben ser muy voluminosas para soportar las grandes cargas concentradas que se les aplican. La prensa mostrada en la figura 1.4, está diseñada para este propósito, y está equipada con un mecanismo de junta articulada para accionar la corredera. El eslabón superior o articulación de prensa, está abisagrado en un extremo en la parte superior del bastidor y sujeto a un pasador en el otro. El eslabón inferior está también sujeto al mismo pasador y el otro extremo a la corredera.

En la figura 1.4 se muestra una prensa articulada con bastidor de hierro fundido. En cuanto se coloca a los dos eslabones de articulación posición rectilínea, la corredera ejerce una gran fuerza.

Este tipo de prensa siempre ha tenido uso amplio en el acuñado de monedas. De acuerdo a las pruebas efectuadas por empresas importantes en la rama, se requiere de una fuerza de 0,9 MN para lograr impresiones claras de monedas de medio dólar hechas en matriz cerrada.

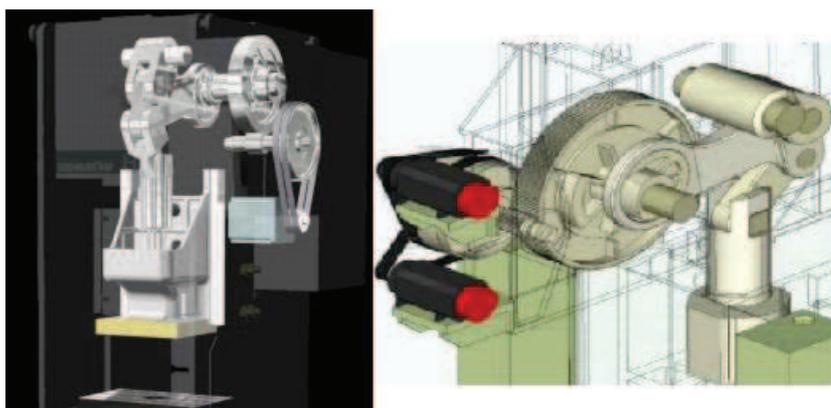


Fig.1.4. Prensa de junta articulada [8].

Junto con el acuñado de monedas, se pueden prensar en frío con este tipo de máquina, muchas otras piezas tales como medallas, llaves ciegas, placas para automóvil, cajas para relojes y utensilios de plata. También se pueden efectuar

operaciones de calibrado, enderezado, estampado pesado y otras similares. Ya que la carrera de este tipo de prensa es corta y lenta, no se adapta a las operaciones de embutido o doblado.

1.3.7. Prensa dobladora

Las prensas dobladoras (figura 1.5) se usan para doblar, formar, rebordear, repujar, desbarbar y punzonar láminas metálicas de bajo calibre. Tales prensas pueden tener espacios para láminas de 6 m de ancho y 16 mm de espesor.



Fig.1.5. Las prensas dobladoras [8].

La capacidad de presión requerida de una prensa dobladora para un material dado, se determina por la longitud de la pieza, el espesor del material y el radio del doblado. El radio mínimo interior del doblado se limita usualmente a un valor igual al espesor del material. Para las operaciones de doblado, la presión requerida varía en proporción a la resistencia a la tensión del material. Las prensas dobladoras tienen carreras cortas, y están equipadas generalmente con un mecanismo impulsor de tipo excéntrico. La figura 1.6 ilustra dos prensas poco usuales que con material de calibre grueso se emplean en la producción de tubería de 760 mm y 915 mm de diámetros para sistemas de gasoductos [8].

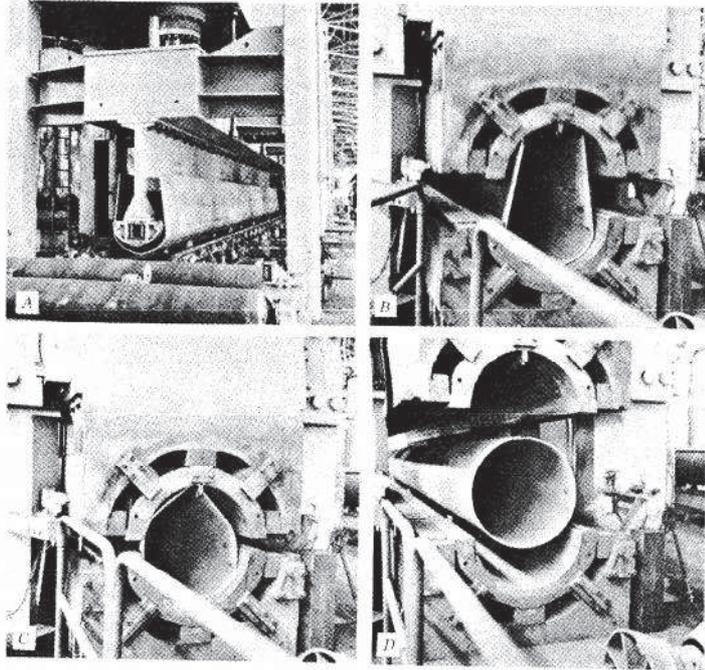


Fig.1.6. Pasos del formado de un tubo de gran diámetro en prensa [4].

Como primer paso de la operación, la prensa tipo dobladora, flexiona a la gran placa en forma de U. A partir de esta forma, se le comprime en una prensa “O” a presiones mayores a los 125 MPa. Dentro de una forma tubular. Después de esta serie de operaciones de formado, se suelda la tubería, se limpia y se controla la calidad.

1.3.8. Prensa hidráulica

Las prensas hidráulicas tienen carreras más prolongadas que las prensas mecánicas y desarrollan plena fuerza a lo largo de toda la carrera. Sin embargo, la capacidad de estas prensas es fácilmente ajustable, y sólo puede usar una fracción de la fuerza. También se puede ajustar la longitud de la carrera como sea necesaria. La prensa se adapta especialmente a operaciones de embutido profundo, debido a su movimiento lento y uniforme. En forma análoga se usan para operaciones que requieren de grandes fuerzas tales como el aglomerado de metales en polvo, extruido, laminado, moldeo de plástico y forjado [9].

Las prensas hidráulicas no se recomiendan para recortado fuerte y operaciones de punzonado, ya que el choque de impacto es perjudicial para la prensa. El mantenimiento es mayor que para las prensas mecánicas, aun cuando la operación

de la prensa es más lenta. Las prensas hidráulicas pequeñas se asemejan a las prensas de costados rectos.

Para el trabajo de grandes áreas se usa la construcción tipo poste o de cuatro columnas. La prensa hidráulica que se muestra en la figura 1.7 está especialmente diseñada para punzonar en toda clase de láminas metálicas [10].



Fig.1.7. Prensa hidráulica [11].

En la figura 1.8 se pueden apreciar los mecanismos más importantes que se utilizan para activar los distintos tipos de prensas antes mencionados.

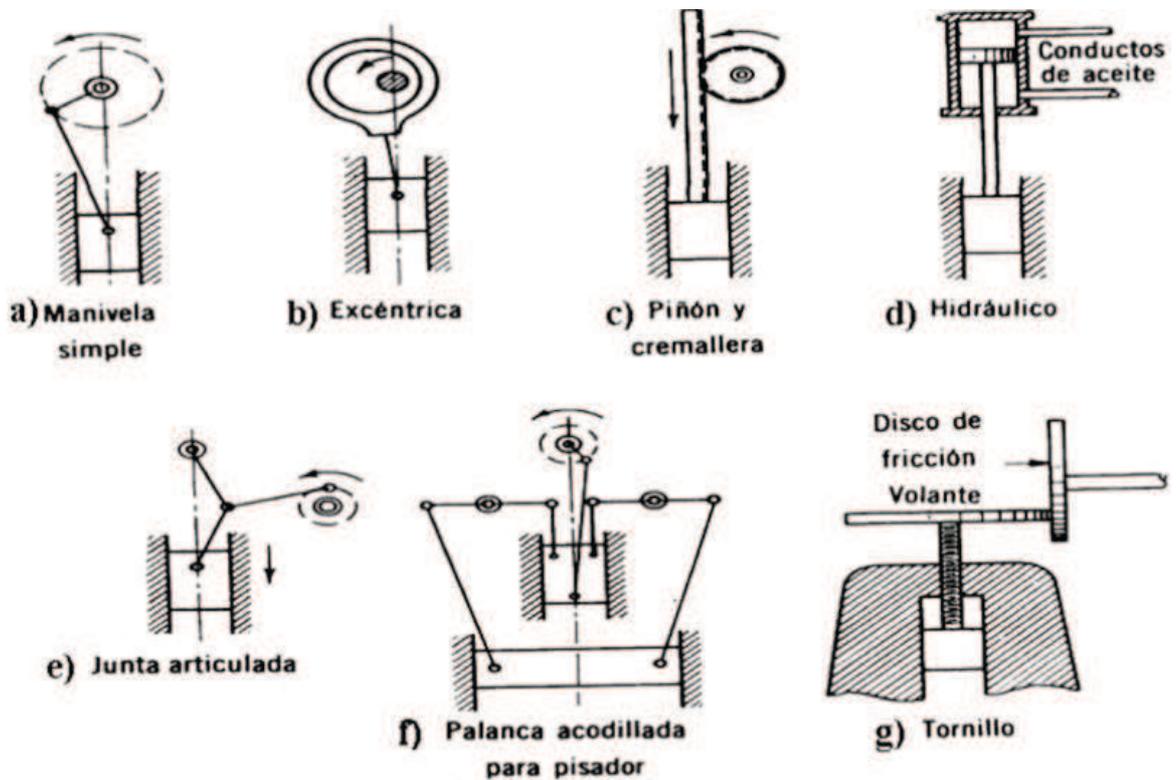


Fig.1.8. Mecanismos de transmisión usados en prensas [4].

1.4 Compactadoras para metales.

Los tipos de equipo de compactación utilizados en operaciones de desechos sólidos se pueden clasificar como estacionarios y móviles. 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. 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/pulg² (70,310 kg/m²); presión alta, más de 100 lb/pulg². 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.
- 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 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.

Compactación de Alta Presión: Recientemente se han desarrollado un número de sistemas de compactación de alta presión (hasta 5,000 lb/pulg² (34.47 MPa)). 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/m³ a 1,100 kg/m³. 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/m³. La reducción de volumen obtenida con estos sistemas de compactación de alta presión varía con las características de los desechos; típicamente, la reducción varía de alrededor de 3 a 1 hasta 8 a 1 [2, 12].

Tabla 1.1.Equipo de Compactación Usado para Reducción de Volumen [13].

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 compactadores 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/	Compactador con pistón vertical u horizontal;

	comercial	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 procesamiento	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 horizontales y verticales, 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 [2, 11, 14].



Fig.1.9. Compactadora horizontal [11].



Fig.1.10. Compactadora horizontal [11].

1.7 Diseño de compactadoras

Los elementos de la máquina 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 serían vanos si están basados en cargas incorrectas o si están mal definidas las características de diseño [15] .

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 factores en un caso del diseño. 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 [1, 16].

1.8 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 [17, 18].

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.

1.9 Reciclaje de aluminio



Fig.1.11. Reciclaje del aluminio [18].

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 se extrae de la bauxita, es un recurso no renovable que se extrae de muchos lugares del mundo. Para fabricar una sola tonelada de aluminio se debe extraer de una mina 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 [18-20].

1.10 Introducción a los software CAD

Dado el alto nivel de competitividad en el mercado nacional e internacional, las compañías necesitan abatir sus tiempos de diseño. Se dan a conocer sus componentes y lo que implica su implementación en el medio industrial bajo la óptica de las medianas y pequeñas empresas.

La aplicación de los sistemas computacionales para el diseño y la manufactura han tenido un amplio desarrollo y se han extendido a diversos sectores productivos. Conoceremos sus componentes y lo que implica su implementación en el medio industrial bajo la óptica de las medianas y pequeñas empresas de manufactura con altos niveles de calidad [21].

Una herramienta poderosa para todo tipo de industria es el uso de la tecnología computacional en las labores de dibujo y diseño. Se analizan sus beneficios desde la perspectiva de la mediana y la pequeña empresa que requieren adoptar nuevas tecnologías, con la necesidad de ser competitivas a nivel mundial, lo cual se ha denominado manufactura de clase mundial, y en especial, presentar las aplicaciones de CAD/CAM en aquellos sectores tanto en el Metalmecánico, como en los otros sectores manufactureros [22].

Otro aspecto a considerar en un mercado tan competido, abierto y de múltiples opciones, es el soporte tecnológico posventa del cual dispone el proveedor. La venta comercial puede dar falsas expectativas con respecto al alcance del producto. El servicio ofrecido y en el programa de entrenamiento como también la adecuación a sus productos y la maquinaria de la cual dispone.

El CAD (*Computer Aided Design*), o diseño asistido por computador, permite al diseñador crear imágenes de partes, circuitos integrados, ensamblajes y modelos de

prácticamente todo lo que se le ocurra en una estación gráfica conectada a un computador. Estas imágenes se transforman en la base de un nuevo diseño, o en la modificación de uno previamente existente. A éstas se le asignan propiedades geométricas, cinéticas, del material entre otras, mejorando así el diseño sobre papel. Se logra así una mayor velocidad en el diseño, al existir la posibilidad de corregir, encargándose el computador de recalcularlo el dibujo.

Las principales mejoras que se alcanzan utilizando esta tecnología son.

- Mejora en la representación gráfica del objeto diseñado: con el CAD el modelo puede aparecer en la pantalla como una imagen realista, en movimiento, y observable desde distintos puntos de vista. Cuando se desee, un dispositivo de impresión (plotter) proporciona una copia en papel de una vista del modelo geométrico.
- Mejora en el proceso de diseño: se pueden visualizar detalles del modelo, comprobar colisiones entre piezas, interrogar sobre distancias, pesos, inercias, etc. En conclusión, se optimiza el proceso de creación de un nuevo producto reduciendo costes, ganando calidad y disminuyendo el tiempo de diseño.

En resumen, se consigue una mayor productividad en el trazado de planos, integración con otras etapas del diseño, mayor flexibilidad, mayor facilidad de modificación del diseño, ayuda a la estandarización, disminución de revisiones y mayor control del proceso de diseño [23].

Un buen programa CAD no sólo dispone de herramientas de creación de superficies, sino también de posibilidades de análisis y verificación de las mismas, entendiendo por superficies correctas aquéllas cuyos enlaces entre ellas son continuos en cuanto a tangencia y curvatura, y sin contener zonas donde se ha perdido continuidad de curvatura.

No obstante, al no ser posible detectar todos los defectos, en muchos casos es aconsejable fabricar un modelo real de la pieza a fin de poder analizar mejor el resultado obtenido, sobre todo en aquellos casos en que a partir de las superficies creadas en el CAD se diseña el molde. Para fabricar dichos modelos se utilizan tecnologías de fabricación rápida de prototipos.

Además de la verificación de las superficies, un programa CAD avanzado permite trazar superficies paralelas a las creadas, por ejemplo generando la piel interna de la pieza a partir de la piel externa en el caso de piezas con un espesor uniforme conocido y debe tener los elementos necesarios para conseguir realizar sobre el modelo CAD todas las actividades de ingeniería de diseño necesarias (nerviado, fijaciones, centradores, elementos rigidizadores).

Existen sistemas CAD especiales para aplicaciones mecánicas, electrónicas y de arquitectura, los cuales permiten una mejor interrelación con sus respectivos sistemas CAE (*Computer Aided Engineering*) [24].

El CAE o ingeniería asistida por computador, es la tecnología que analiza un diseño y simula su operación para determinar su apego a las condiciones de diseño y sus capacidades. Hoy en día, CAE es casi dos tecnologías separadas: una es la aplicada a la mecánica y otra a la electrónica. Ambas realizan extensos análisis respecto de las leyes físicas, así como de los estándares de la industria. El CAE mecánico, en particular, incluye un análisis por elementos finitos (FEA, *finite element analysis*) para evaluar las características estructurales de una parte y programas avanzados de cinemática para estudiar los complejos movimientos de algunos mecanismos. El CAE electrónico, asimismo, permite verificar los diseños antes de fabricarlos, simular su uso y otros análisis técnicos para evitar perder tiempo y dinero [25].

1.10.1 SolidWorks

El SolidWorks, 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% [25]. En encuesta realizada a más de 21,000 usuarios CAD se puede apreciar la aceptación del software (ver figura 1.12). Son estas las razones que provocaron que el SolidWorks sea el software seleccionado para solucionar nuestro problema.

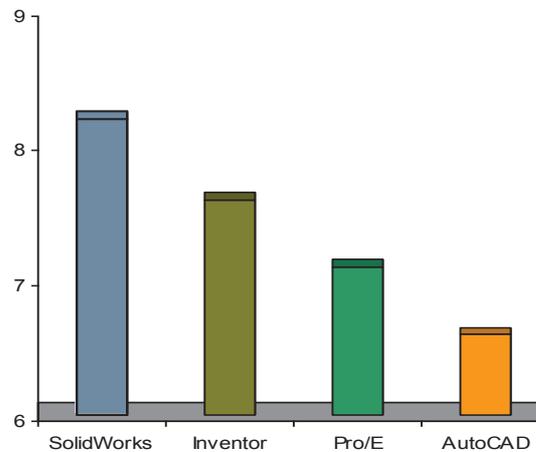


Fig.1.12. Calificación de aceptación de los usuarios CAD. Fuente: [2].

1.11 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.

Esta circunstancia obligaba a realizar prototipos, ensayarlos e ir realizando mejoras de forma iterativa, lo que traía consigo un elevado coste tanto económico como en tiempo de desarrollo. El MEF permite realizar un modelo matemático de cálculo del sistema real, más fácil y económico de modificar que un prototipo. Sin embargo no deja de ser un método aproximado de cálculo debido a las hipótesis básicas del método. Los prototipos, por lo tanto, siguen siendo necesarios, pero en menor número, ya que el primero puede acercarse bastante más al diseño óptimo.

El método de los elementos finitos como formulación matemática es relativamente nuevo; aunque su estructura básica es conocida desde hace bastante tiempo, en los últimos años ha sufrido un gran desarrollo debido a los avances informáticos. Han sido precisamente estos avances informáticos los que han puesto a disposición de los usuarios gran cantidad de programas que permiten realizar cálculos con elementos finitos. Pero no hay que llevarse a engaño, el manejo correcto de este tipo de programas exige un profundo conocimiento no solo del material con el que se trabaja, sino también de los principios del MEF. Sólo en este caso estaremos en

condiciones de garantizar que los resultados obtenidos en los análisis se ajustan a la realidad.

1.11.1 Conceptos generales del método de los elementos finitos

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 del 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[26].

En cualquier sistema a analizar podemos distinguir entre (figura 1.13):

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

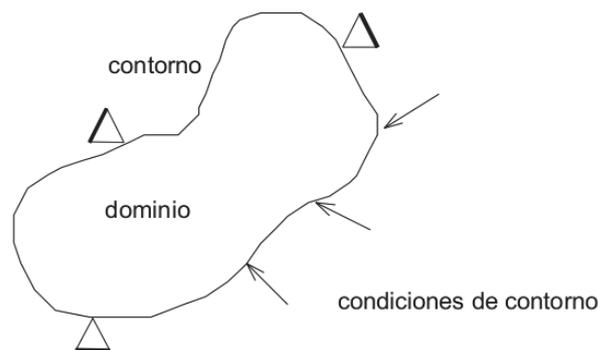


Fig.1.13. Componentes del método de los elementos finitos [27].

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 tridimensional) imaginarias, de forma que el dominio total en estudio se aproxime mediante el conjunto de porciones (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 materializan las incógnitas fundamentales del problema[28].

En el caso de elementos estructurales estas 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 les 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 posición del nodo [23, 29].

1.11.2 Análisis del *Simulation*

Si a las cualidades antes señaladas del SolidWorks se le suma el hecho de que se le puede incorporar un paquete de análisis por elementos finitos que tiene por nombre *Simulation*. Con ello no es necesario exportar el modelo, se gana en tiempo, se mantiene la integridad del mismo y además no necesita de gran equipamiento técnico. El modelo puede ser modificado y reanalizado en el mismo software.

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 [25, 30, 31].

1.12 Métodos para el análisis de la síntesis de mecanismos

Ampere definió la cinemática como "el estudio del movimiento de los mecanismos y de los métodos para crearlos". La primera parte de esta definición se relaciona con el análisis cinemático. Dado cierto mecanismo, las características de movimiento de sus componentes se determinan por análisis cinemático. El enunciado de la tarea de análisis contiene las dimensiones del mecanismo más importantes, las interconexiones de sus eslabonamientos y la especificación del movimiento de entrada o del método de accionamiento.

El objetivo es encontrar los desplazamientos, velocidades, aceleraciones, choque o aceleramiento (segunda aceleración) y tal vez aceleraciones superiores de los diversos miembros, así como las trayectorias descritas y los movimientos realizados por ciertos elementos. En pocas palabras, en el análisis cinemático determinamos el rendimiento de un mecanismo dado.

La segunda parte de la definición de Ampere se puede parafrasear de dos maneras:

1. El estudio de los métodos para crear un movimiento dado por medio de mecanismos.
2. El estudio de los métodos para crear mecanismos que tengan un movimiento dado.

En cualquiera de las dos versiones, se da el movimiento y se debe encontrar el mecanismo. Ésta es la esencia de la síntesis cinemática. Así, la síntesis cinemática se ocupa del diseño sistemático de mecanismos para un rendimiento dado.

Las áreas de síntesis se pueden agrupar en dos categorías:

La síntesis de tipo busca predecir cuál combinación de topología de eslabonamientos y tipo de juntas puede ser la mejor para resolver una tarea dada. Con frecuencia, un diseñador puede optar por una solución que meramente satisface los requisitos, ya que al parecer no existe ningún método para encontrar una solución "óptima".

El primer paso de la síntesis de tipo es determinar el número y el tipo de los eslabones necesarios para formar eslabonamientos con el grado de libertad correcto. Síntesis dimensional. La mejor forma de describir la segunda categoría principal de la síntesis cinemática es expresando su objetivo.

La síntesis dimensional busca determinar las dimensiones significativas y la posición inicial de un mecanismo de un tipo preconcebido para una tarea especificada y un rendimiento prescrito.[32]

Herramientas de síntesis dimensional

Las dos herramientas básicas de la síntesis dimensional son la construcción geométrica y el cálculo analítico (matemático).

Los métodos de síntesis geométricos o gráficos ofrecen al diseñador un procedimiento de diseño relativamente rápido y directo. Las técnicas gráficas tienen limitaciones de exactitud a causa del error de dibujo, el cual a veces es crítico, y

podría ser necesario repetir muchas veces la construcción geométrica para obtener resultados apropiados a causa de la complejidad de la resolución.

Los métodos de síntesis analíticos son adecuados para el cálculo automático y tienen las ventajas de exactitud y repetitividad. Una vez que un mecanismo se modela matemáticamente y se codifica para una computadora, es fácil manipular los parámetros del mecanismo para crear nuevas soluciones sin programación adicional. Aunque en este texto hacemos hincapié en la síntesis analítica, es importante tener experiencia en las técnicas gráficas para utilizarlas en las fases iniciales de la síntesis cinemática.[33, 34]

Análisis cinemático. Formulación analítica del mecanismo.

En la Teoría de Máquinas y Mecanismos (TMM) la solución de los problemas de análisis de mecanismos comienza con la construcción del esquema cinemático. La información requerida para la construcción de éste, mediante el método gráfico, se obtiene con relativa facilidad a partir de dibujos y esquemas. En el ensamble de los eslabones, desde el punto de vista analítico se opera con vectores. La posición de estos, en el espacio tridimensional, viene dada por la coordenada de dos puntos o por la coordenada de un solo punto la longitud y el ángulo de orientación de este vector. En la formulación analítica de un mecanismo se utiliza un concepto fundamental: un mecanismo es una cadena cinemática cerrada que tiene un eslabón fijo y un número de grados de libertad igual a uno o mayor que uno.

En la formulación analítica se tomará como ejemplo el mecanismo de balancín representado en la figura 1.14 el cual está compuesto por un mecanismo de primera clase y un grupo estructural de segunda clase.

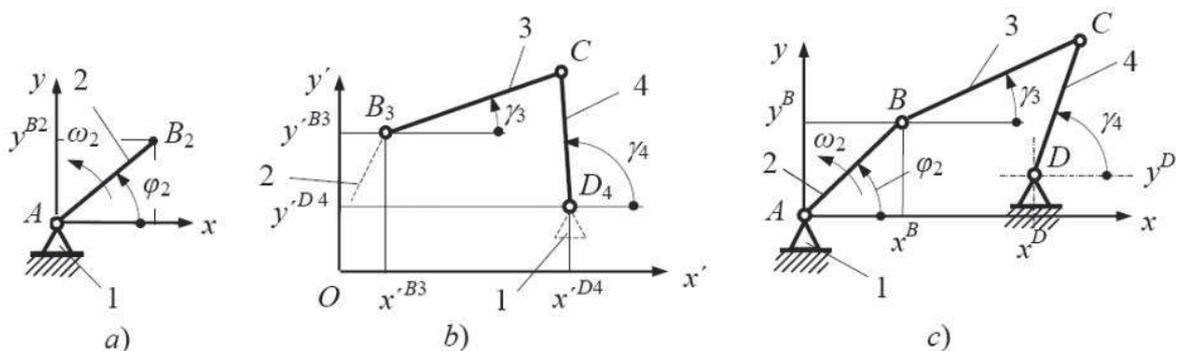


Fig.1.14. Etapas de ensamble analítico de un mecanismo [27].

Al colocar el mecanismo de primera clase (Fig. 1.13a) en el sistema de coordenadas xy se obtienen las ecuaciones del mecanismo de primera clase:

$$x^{B2} = x^{A1} + L_{AB} * \cos \varphi 2 \quad (1)$$

$$y^{B2} = x^{A1} + L_{AB} * \cos \varphi 2 \quad (2)$$

Asimismo, las ecuaciones del grupo estructural de segunda clase, colocado en el sistema de coordenadas x' y' (Fig. 1.13b), tendrán la forma siguiente:

$$x_1^{D4} = x_1^{B3} + L_{BC} * \cos \gamma 3 - L_{CD} * \cos \gamma 3 \quad (3)$$

$$y_1^{D4} = x_1^{B3} + L_{BC} * \sin \gamma 3 - L_{BC} * \sin \gamma 3 \quad (4)$$

Al colocar el mecanismo primario y el grupo estructural en un solo sistema de coordenadas xy (Fig. 1.13c) y unir los eslabones 2 y 3 mediante el par cinemático B en que $x^{B3} = x^{B2}$, $y^{B3} = y^{B2}$, también el eslabón 4 con la base 1 mediante el par D con $x^{D4} = x^{D1}$, $y^{D4} = y^{D1}$ se obtiene una nueva cadena cinemática. Su representación matemática es:

$$x^D = L_{AB} * \cos \varphi 2 + L_{BC} * \cos \varphi 3 - L_{CD} * \cos \varphi 4 \quad (5)$$

$$y^D = L_{AB} * \sin \varphi 2 + L_{BC} * \sin \varphi 3 - L_{CD} * \sin \varphi 4 \quad (6)$$

El sistema de ecuaciones 3 representa un sistema cinemático cerrado, que se conoce como sistema de ecuaciones de cierre del mecanismo o simplemente la ecuación del mecanismo. [35]

Del análisis representado se puede llegar a una conclusión muy importante y es que para la representación analítica de un mecanismo no es necesario formular la ecuación del sistema cinemático cerrado: es suficiente con tener la ecuación del mecanismo de primera clase, las de los grupos estructurales y el modo de su unión. En la formación de los mecanismos de segunda clase hay que tener en cuenta que para obtener uno con un grado de libertad, los pares cinemáticos externos de los grupos estructurales deben estar unidos del modo siguiente: uno con la base y el otro con el eslabón móvil del mecanismo de primera clase o con un eslabón móvil del grupo estructural anterior.

CAPÍTULO 2: MATERIALES Y MÉTODOS.

Después de realizado el análisis de los antecedentes y estado actual de las máquinas compactadoras de metales, en este Capítulo se desarrollará la metodología para el diseño del mecanismo objeto de estudio. Asimismo, se muestra el procedimiento para ejecutar el análisis y la síntesis de este. Se abordarán los aspectos relacionados con la selección del material de los elementos del mecanismo y luego se realizará el modelado de los elementos en un software CAD para su análisis por el Método de los Elementos Finitos. En la figura 2.1 se muestra la metodología para diseñar y analizar el mecanismo de la compactadora.

2.1 Estudio de los mecanismos de compactadoras con funciones similares.

Para seleccionar el mecanismo de compactadora de chatarra de aluminio se partió primeramente de estudios a mecanismos de compactadoras con funciones similares, se desglosaron los diferentes tipos de compactadoras por tamaño, funciones, formas de comprimir y cantidad de fuerza que ejercen para compactar.

También se analizó la estructura y movilidad de los mecanismos ya que es donde se estudia la clasificación y estructura de los mecanismos, el movimiento de los elementos sin considerar las fuerzas que lo producen. La movilidad de un mecanismo, muestra que cantidad de elementos lo constituyen además es necesario aplicar las leyes del movimiento para que estas leyes en sus demás elementos sean completamente determinadas. Determinar la estructura significa establecer que grupos de elementos forman un mecanismo y en qué orden se unen estos grupos.

2.2 Modelación de los elementos con sus dimensiones en el Software de diseño CAD.

Para modelar el mecanismo de la compactadora se utilizó el programa de diseño asistido por computadora SolidWorks en su versión 2012, siendo este una potente herramienta de diseño utilizado en el mundo. El proceso consiste en trasvasar la idea mental del diseñador al sistema CAD construyendo virtualmente la pieza o conjunto. En dicho software se modelaron la forma y las dimensiones de cada una de las piezas con que cuenta el mecanismo de la compactadora. Las piezas que conformarán definitivamente el mecanismo son:

- Manivela.

- Biela.
- Pistón.
- Pasador o bulón.



Fig. 2.1. Diagrama de flujo para el diseño del mecanismo de la compactadora.

2.3 Ensamble del modelo del mecanismo de la compactadora.

Para el ensamble de cada uno de los modelos de piezas que conforman la compactadora se utilizó el módulo de ensamble del software SolidWorks 2012 aplicando relaciones de posición entre cada una de las superficies que tienen relación entre sí.

2.4 Análisis cinemático del mecanismo de la compactadora

El propósito fundamental del análisis cinemático de un mecanismo es la determinación de las posiciones, velocidades y aceleraciones de todas las partes móviles del mismo. Durante el funcionamiento de un mecanismo todos sus elementos, se desplazan, y en cada instante ocupan posiciones definidas. El número de grado de libertad (GDL) de un mecanismo es el número de coordenadas independientes – coordenadas angulares y coordenadas lineales que se necesitan para definir unívocamente la posición correspondiente de los elementos móviles.

2.5 Asignación de los materiales y sus propiedades a cada pieza.

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 se modeló con las propiedades de un acero aleado AISI 6150 [2], la biela se modeló con las propiedades de un acero aleado AISI 4340 normalizado, la cigüeñal de acero al carbono AISI 1045 y el pasador de acero AISI 4130. Todas las propiedades de estas piezas fueron seleccionadas de la biblioteca de materiales de SolidWorks 2012, una representación de esto se puede observar en la figura 2.2.

2.6 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 del mecanismo de la compactadora. Para el resto de las partes de los modelos se simularon los contactos como una unión rígida global.

2.7 Asignación de las cargas y restricciones presentes en los modelos

Las cargas y las restricciones son necesarias para definir el entorno del modelo. Los resultados de análisis directamente dependen de las restricciones y cargas

especificadas. Las cargas y las restricciones son aplicadas a entidades geométricas como las características que son completamente asociativas para la geometría y automáticamente se ajustan a los cambios geométricos del modelo. Los tipos de cargas y las restricciones disponibles dependen del tipo del estudio.

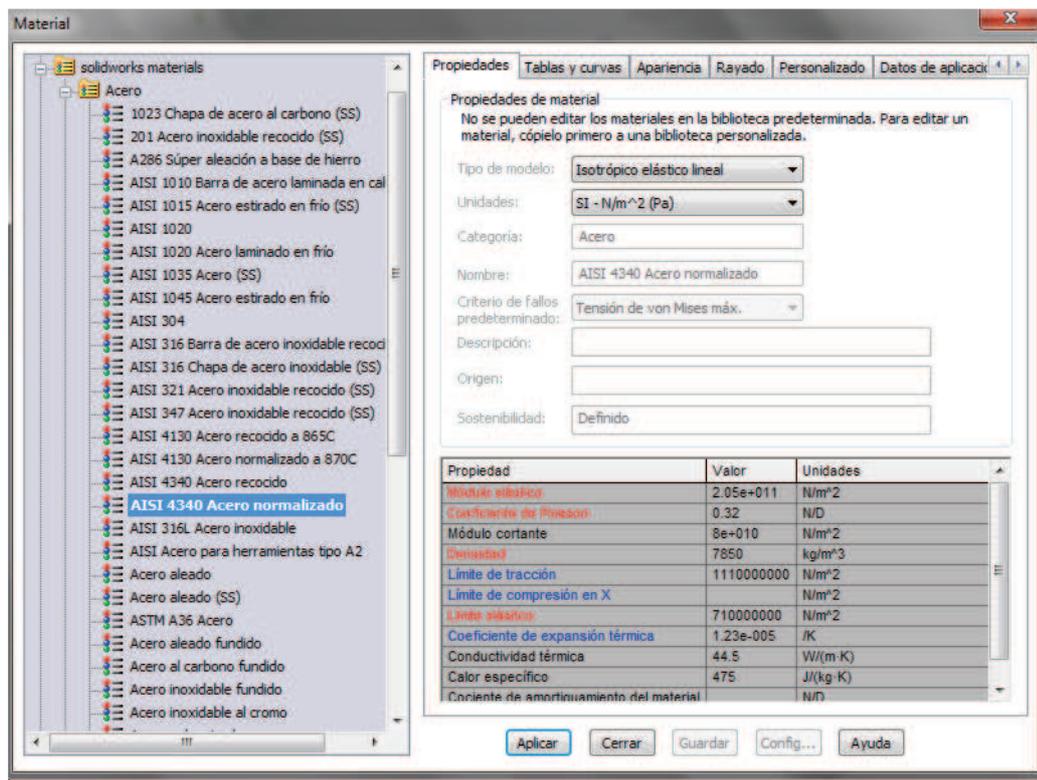


Fig. 2.2. Biblioteca de materiales de SolidWorks 2012.

2.8 Mallado de los elementos del mecanismo de la compactadora

El mallado es un paso muy crucial en el análisis del diseño. El análisis de elementos finitos proporciona una técnica numérica fiable para analizar los diseños de ingeniería. El proceso empieza con la creación de un modelo geométrico. Luego, el programa subdivide el modelo en partes pequeñas de formas sencillas llamadas elementos, que están conectadas en puntos comunes llamados nodos. El proceso de subdividir el modelo en pequeñas partes se llama mallado (ver figura 2.3). Los programas de análisis de elementos finitos consideran al modelo como una red de elementos interconectados.

El mallado automático en COSMOSWorks genera una malla basada en un tamaño global del elemento, tolerancia, y especificaciones de control local de esta malla. El control de la malla deja especificar tamaños diferentes de elementos para componentes como: caras, bordes y vértices.



Fig. 2.3. Modelo CAD de una pieza a), mallado de este modelo b) [27].

2.9 Estudio del modelo del mecanismo de la compactadora por el Método de los Elementos Finitos.

Luego de modelado el mecanismo de la compactadora para desechos de aluminio se procedió a realizar un estudio de movimiento para simular el funcionamiento real y además un estudio estático para determinar las tensiones y las deformaciones de cada uno de los elementos teniendo en cuenta la carga de trabajo real del mecanismo para obtener resultados fiables. Todo lo anterior se realizará utilizando el método de los elementos finitos, siendo este, uno de los métodos numéricos de mayor utilización en la actualidad con fines ingenieriles. Para esta investigación se utilizó el módulo de cálculo por elementos finitos con que consta el SolidWorks en su versión 2012, que tiene por nombre *Simulation*, una potente herramienta de cálculo utilizada en los momentos actuales de la ingeniería y para el estudio de movimiento se utilizó el *SolidWorksMotion*.

CAPÍTULO 3: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS DEL MECANISMO DE LA COMPACTADORA PARA CHATARRA DE ALUMINIO.

3.1 Estudio de los mecanismos de compactadoras con funciones similares.

Después de haber realizado un estudio bibliográfico sobre los tipos de mecanismos para 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 el mecanismo de la compactadora de chatarras de aluminio capaz de comprimir hasta de 70 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.

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

Las piezas pertenecientes al mecanismo de la compactadora se modelaron en software de diseño SolidWorks 2012. La cual cuenta con un modelo de pieza que representa el cigüeñal o manivela (ver figura 3.1).

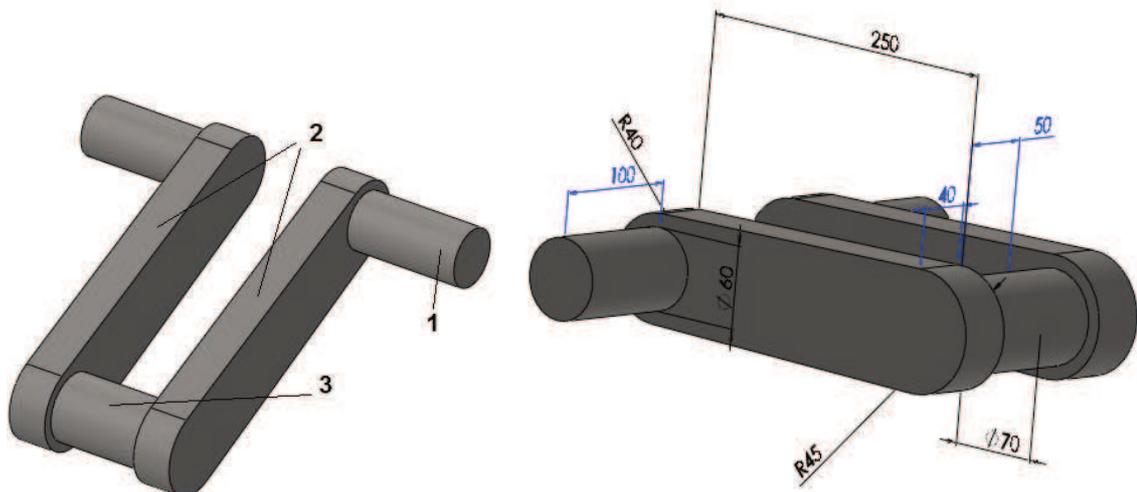


Fig. 3.1. Modelo en 3D de la manivela del mecanismo de la compactadora.

Esta pieza consta de una longitud de 250 mm desde el centro del muñón (1) de apoyo hasta el apoyo donde se acoplará la biela (3), esta longitud es importante debido a se toma como referencia para los cálculos cinemáticos con el objetivo de

simplificar el problema. El muñón 1 tiene un diámetro de 60 mm y una longitud de 120 mm, el apoyo de la biela (3) tiene una longitud de 100 mm y un diámetro de 70 mm. Los brazos (2) tienen un espesor de 40 mm. La biela se encuentra modelada con una dimensión de 500 mm de centro a centro y un espesor de 80 mm (ver figura 3.2) y el bulón o pasador tiene un diámetro de 50 mm y una longitud de 150 mm (ver figura 3.3). El pistón utilizado corresponde al ilustrado en la figura 3.4, desarrollado por [2].

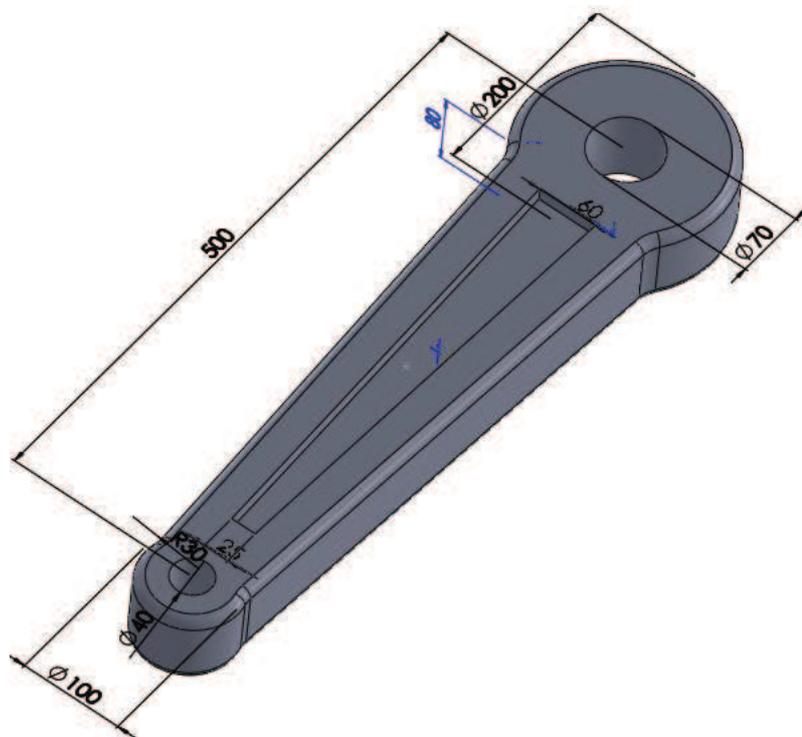


Fig.3.2. Modelo en 3D de la biela del mecanismo de la compactadora.

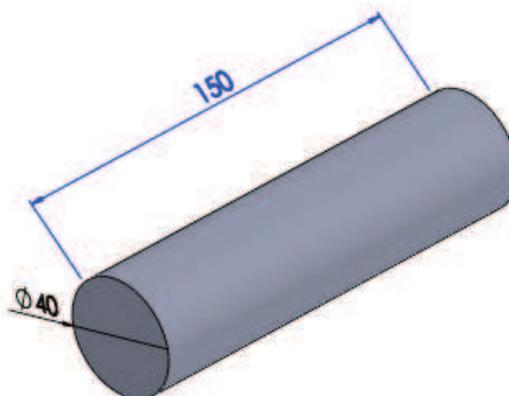


Fig.3.3. Modelo en 3D del bulón o pasador del mecanismo de la compactadora.

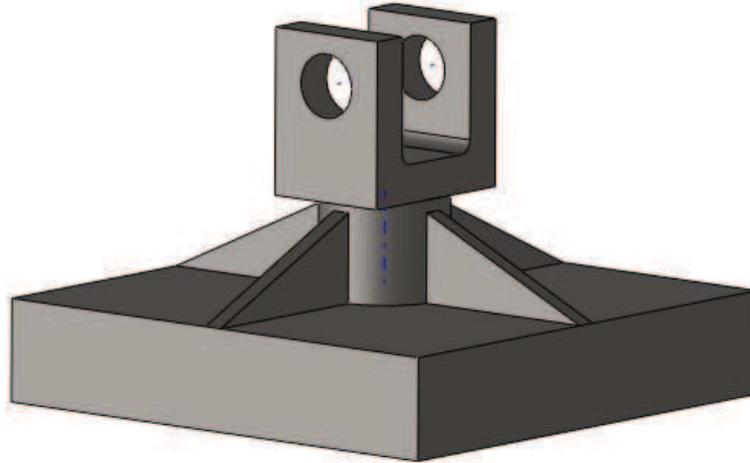


Fig. 3.4. Modelo en 3D del pistón desarrollado por Bosch[2].

3.3 Análisis del ensamble del mecanismo de la 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 3.5.



Fig. 3.5. Modelo en 3D del ensamble del mecanismo de la compactadora.

3.4 Análisis cinemático del mecanismo de la compactadora.

Con SolidWorks Motion Professional se realizó un estudio cinemático para calcular el movimiento del mecanismo de la compactadora para incorporar un control basado en sucesos.

Los estudios de movimiento pueden ser basados en eventos o en tiempo. Los estudios de movimiento basados en el tiempo describen la respuesta de los elementos del ensamblaje en movimiento de cambios que dependen del tiempo.

Los estudios de movimiento basados en eventos se definen con un conjunto de acciones resultantes de eventos desencadenadores, estos estudios se realizan cuando no se conoce la secuencia de tiempo para los cambios de los elementos.

En el caso de estudio del mecanismo de la compactadora para chatarra de aluminio es necesario conocer los desplazamientos, velocidades y aceleraciones, variables que dependen del tiempo, por lo este estudio fue el que se desarrolló.

El motor que accionara la manivela o cigüeñal debe de rotar con una velocidad de 17 rev/min, esta es la velocidad seleccionada en consecuencia de que se trata de una máquina compactadora donde se necesita presión y no velocidad para el choque.

La del motor en el modelo se representa en la figura 3.6

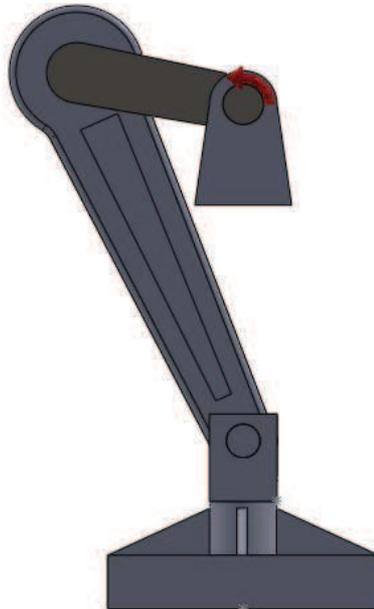


Fig.3.6.Representación de la posición del movimiento del motor del mecanismo de la compactadora.

3.5 Propiedades físicas y mecánicas de los materiales de cada modelo de pieza.

Para los materiales utilizados en el mecanismo de la 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 físicas se plantean el porcentaje de carbono y los elementos aleantes. Las propiedades mecánicas del acero al carbono 1045 utilizado en el cigüeñal se pueden observar en la Tabla 3.1. Este acero es puro al carbón, sin elemento significativo excepto carbono y manganeso menos de 1%, se utiliza en flechas, ejes y engranes [36]. Está constituido fundamentalmente por 0,45% de carbono [37].

Tabla 3.1. Propiedades mecánicas del acero al carbono AISI 1045.

Propiedad	Valor	Unidades
Módulo elástico	205000	MPa
Coeficiente de Poisson	0.29	
Módulo cortante	80000	MPa
Densidad de masa	7858	kg/m ³
Límite de tracción	625	MPa
Límite elástico	530	MPa

Las propiedades mecánicas del acero normalizado AISI 4340 utilizado para la biela se pueden observar en la Tabla 3.2. Este acero según la norma AISI, se emplea para engranes o ejes, piezas forjadas que están sometidas a grandes cargas y buen endurecimiento directo[36]. Su composición química fundamental es 0,40% de carbono, 1,8% de Ni, 0,5 o 0,8% de cromo y 0,25% de Mo [37].

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 ³
Límite de tracción	1110	MPa
Límite elástico	710	MPa

Las propiedades mecánicas del acero aleado AISI 4130 se pueden observar en la Tabla 3.3, este material se empleó en análisis del pasador. Este acero está formado por 0,3% de carbono, 0,95% de Cr y 0,2% de Mo [37].

Tabla 3.3.Propiedades mecánicas del acero aleado 4130.

Propiedad	Valor	Unidades
Módulo elástico	205000	MPa
Coefficiente de Poisson	0.285	
Módulo cortante	80000	MPa
Densidad de masa	7850	kg/m ³
Límite de tracción	731	MPa
Límite elástico	460	MPa

Las propiedades mecánicas de la aleación de aluminio 1060 se pueden observar en la Tabla 3.4, este aluminio fue el utilizado en la tesis desarrollada por Bosch [2].

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 ³
Límite de tracción en x	68.94	MPa
Límite elástico	27.57	MPa

3.6 Análisis de los tipos de contactos entre componentes.

Para el análisis por elementos finitos se tuvieron en cuenta los contactos existentes entre los componentes en la realidad. Todas las superficies tienen una relación considerada de importancia, como la unión del pistón con el pasador y el pasador con la biela, por tanto todos los contactos se consideraron sin penetración

3.7 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 70 MPa de presión, siendo este valor un número superior a la resistencia a la tracción y al límite elástico 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 inferior del pistón simulando la presión que le ejerce el material al oponerse a la compactación (ver figura 3.6).

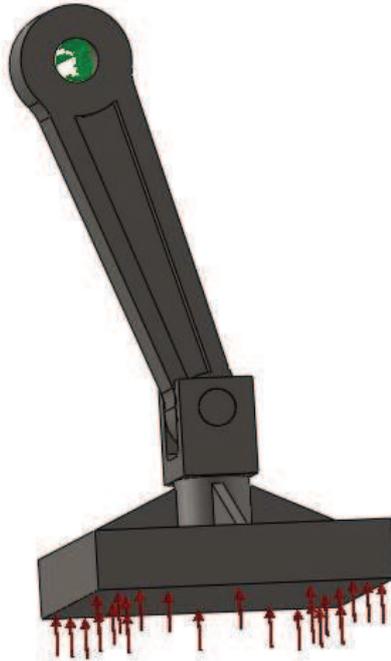


Fig.3.7.Representación de la carga y las restricciones.

Mientras que las restricciones se simularon en el estudio del mecanismo de la compactadora como una geometría fija en la superficie que representa el orificio superior de la biela que hace contacto con el cigüeñal (ver figura 3.7). Esto se representó de esta manera debido a que en el peor de los casos, por equivocación se podría agregar un metal de mayores propiedades mecánicas y podría ocasionar la detención del mecanismo; es decir una sobrecarga de la biela. Es por ello que la biela debe de soportar esta situación en un breve tiempo hasta que el embrague o el mecanismo de fusible se active para liberar esta condición extrema.

3.8 Mallado de los modelos.

En el estudio del mecanismo de la compactadora por su carácter de ensamble y por estar compuesta por piezas con dimensiones muy diferentes se le aplicó la opción de control de mallado a las piezas involucradas en el estudio. Para el mallado se realizó un mallado sólido tetraédrico de alto orden al ensamble con un tamaño de elementos de 22 mm y una tolerancia de 0,01 mm por elementos, para un total de 14 622 elementos y 23 515 nodos. La representación del mallado realizado en el estudio se representa en la figura la figura 3.8.



Fig. 3.8. Mallado de la representación de modelo sobrecargado del mecanismo de la compactadora.

3.9 Análisis de los resultados obtenidos para los dos estudios.

En la figura 3.9 se observa la variación de la velocidad angular teniendo como valor mínimo 60 deg/s y como valor máximo 142 deg/s, los valores extremos corresponden a los puntos muerto inferior y superior respectivamente y en la figura 3.10 se representa la aceleración angular para este mismo par cinemático con una aceleración inicial de 0 deg/s² y una final 83 deg/s² para una carrera de trabajo.

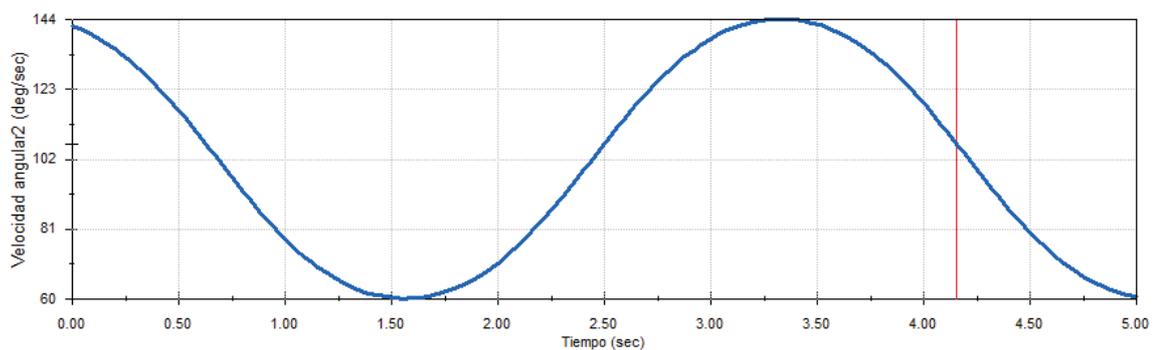


Fig.3.9.Representación de la velocidad angular del par cinemático correspondiente a la unión cigüeñal-biela.

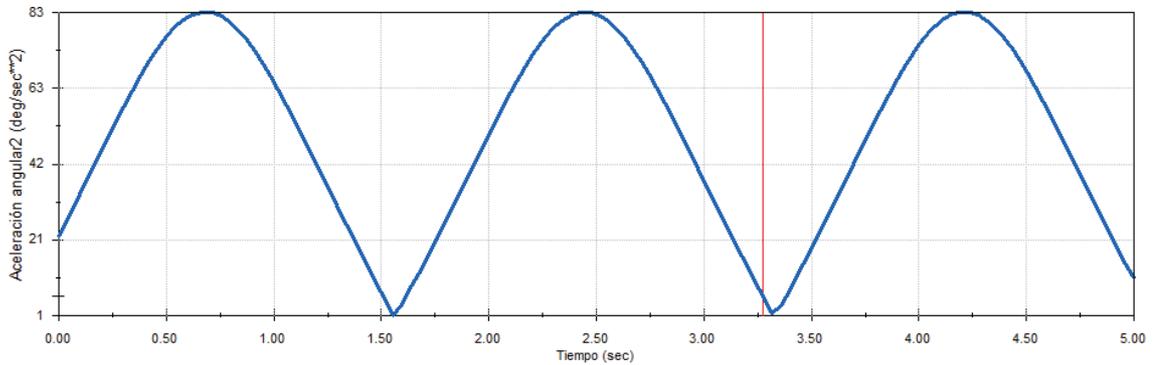


Fig. 3.10. Representación de la aceleración angular del par cinemático correspondiente a la unión cigüeñal-biela.

En la figura 3.11 se representa la velocidad lineal desarrollada por el pistón, con valores mínimo y máximo de ± 483 mm/s, las líneas en rojo representa una velocidad de 0 correspondiente al punto muerto inferior y superior. La aceleración lineal del pistón se observa en la figura 3.12 donde la aceleración máxima será de 1122 mm/s² y la mínima de 560mm/s². El desplazamiento de recorrido del pistón se muestra en la figura 3.13 donde se puede apreciar que la diferencia de la magnitud del punto muerto inferior y del punto muerto superior es 500 mm, dimensión que corresponde con el doble de la longitud de la manivela. La ruta de trazo de cada pieza que compone el mecanismo de la compactadora se observa en la figura 3.14, se destaca que la manivela al tener movimiento de rotación la trayectoria que describe es circular y la biela tiene movimiento plano general (MPG), su trayectoria corresponde a una elipsis, y el pistón son su movimiento lineal su trayectoria corresponde a una recta.

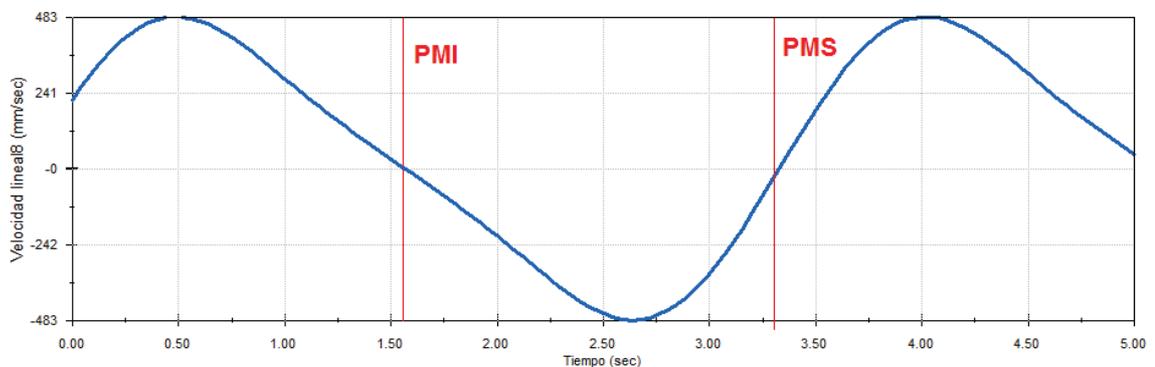


Fig. 3.11. Representación de la velocidad lineal pistón.

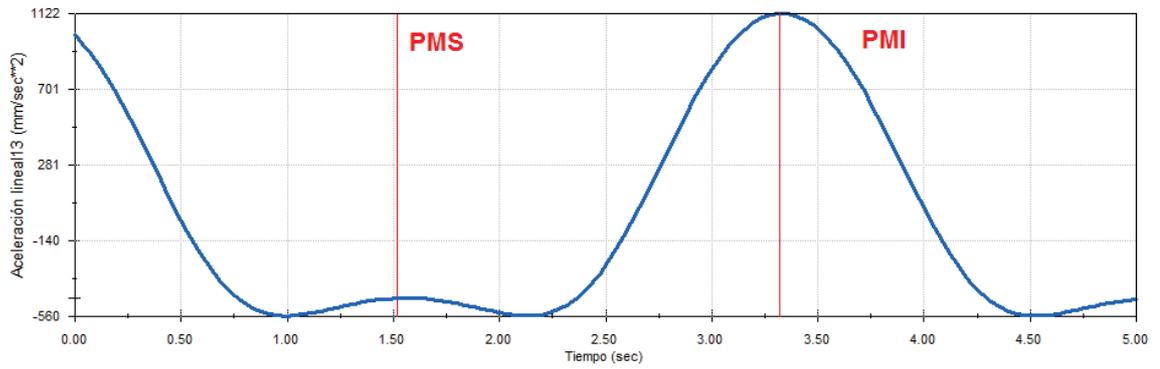


Fig. 3.12. Representación de la aceleración lineal pistón.

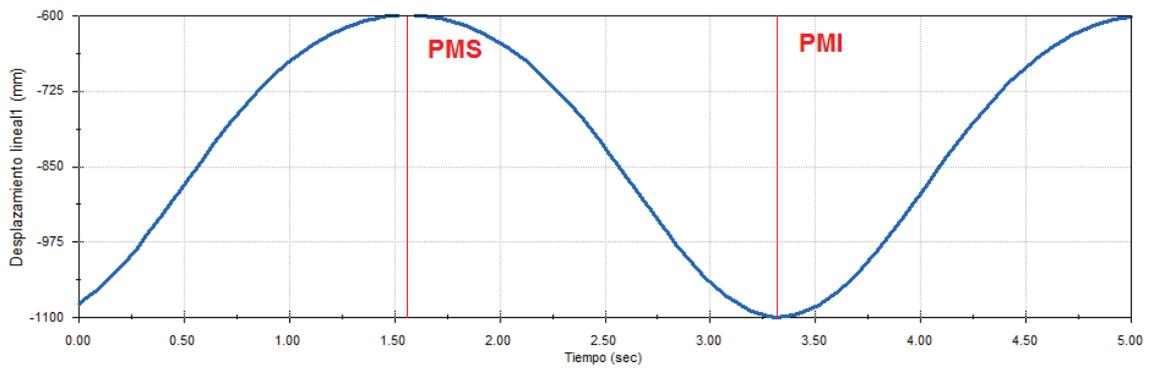


Fig. 3.13. Representación del desplazamiento lineal pistón.

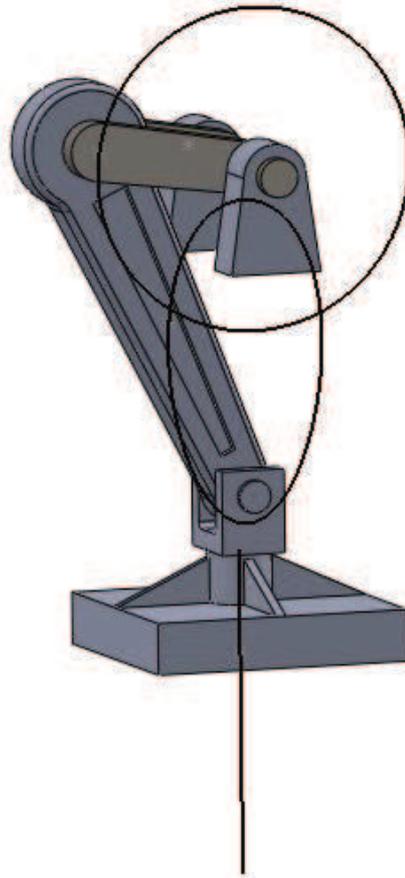


Fig. 3.14. Representación de la ruta de trazo de cada pieza.

En los informes del estudio realizado 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 del mecanismo de la compactadora sobrecargada se obtuvieron unas tensiones máximas de Von Mises de 672,408 MPa en la biela (ver figura 3.15) estando estas tensiones por debajo del límite elástico del material.

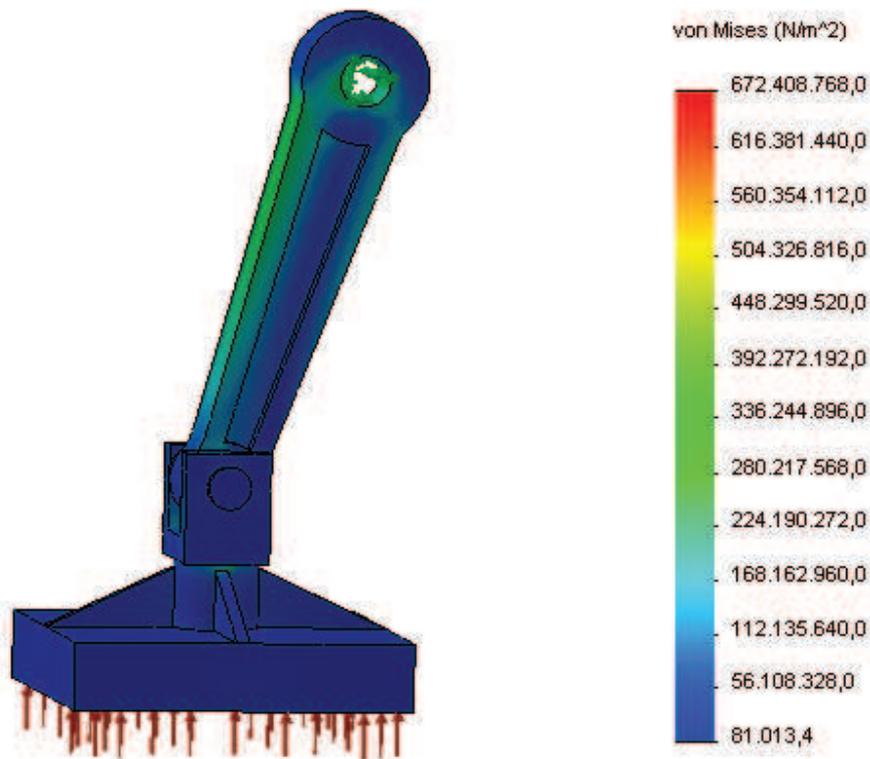


Fig. 3.15. Tensiones de Von Mises del modelo sobrecargado del mecanismo de la compactadora.

Las tensiones normales en el eje de compresión obtenidas en este estudio estuvieron en un rango de $-532,7$ MPa a $194,6$ MPa, el valor máximo correspondió a la biela, esto se interpreta como las tensiones en la dirección de eje de compresión, los valores negativos son debidos a la dirección contraria del eje. Estas tensiones están por debajo del límite elástico de las piezas involucradas en esa área (ver figura 3.16).

Los desplazamientos resultantes de este estudio tuvieron un máximo desplazamiento de $4,97$ mm como era de esperar en la superficie superior de la chatarra (ver figura 3.17) mientras que los desplazamientos máximos en el eje de compresión fueron de $4,26$ mm en dirección contraria al eje de compresión (ver figura 3.18).

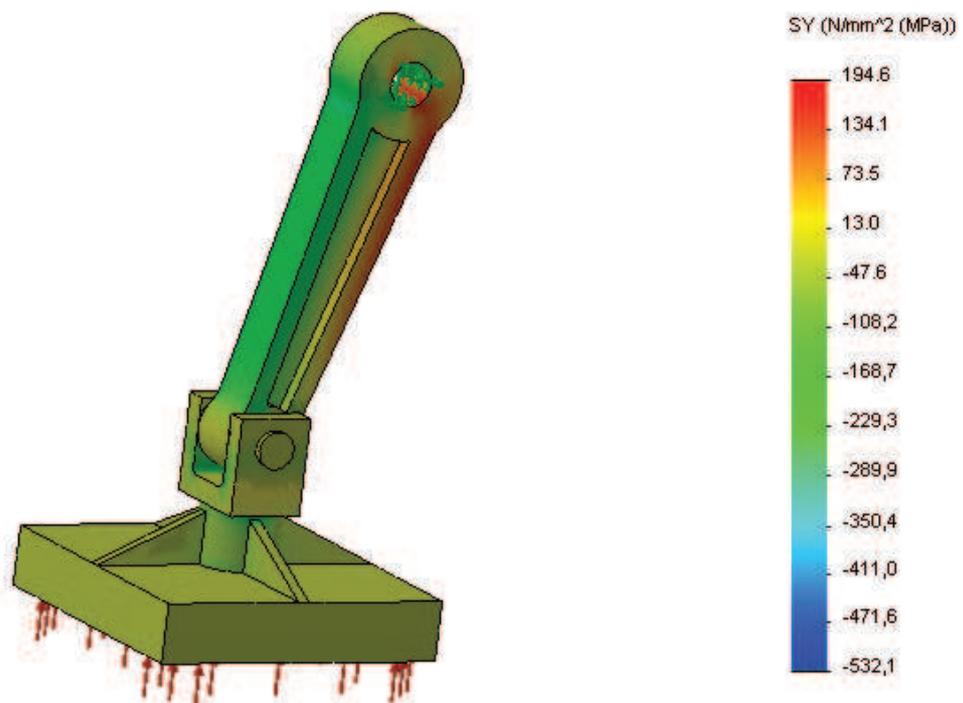


Fig. 3.16. Tensiones normales en el eje de compresión del mecanismo de la compactadora.

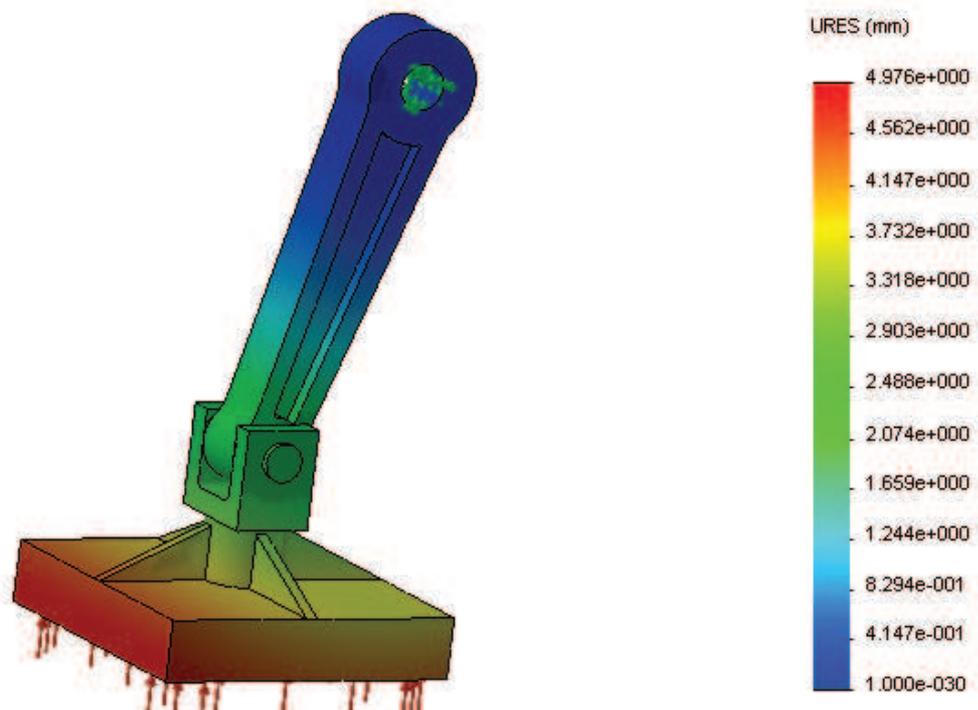


Fig. 3.17. Desplazamientos resultantes del estudio del mecanismo de la compactadora.

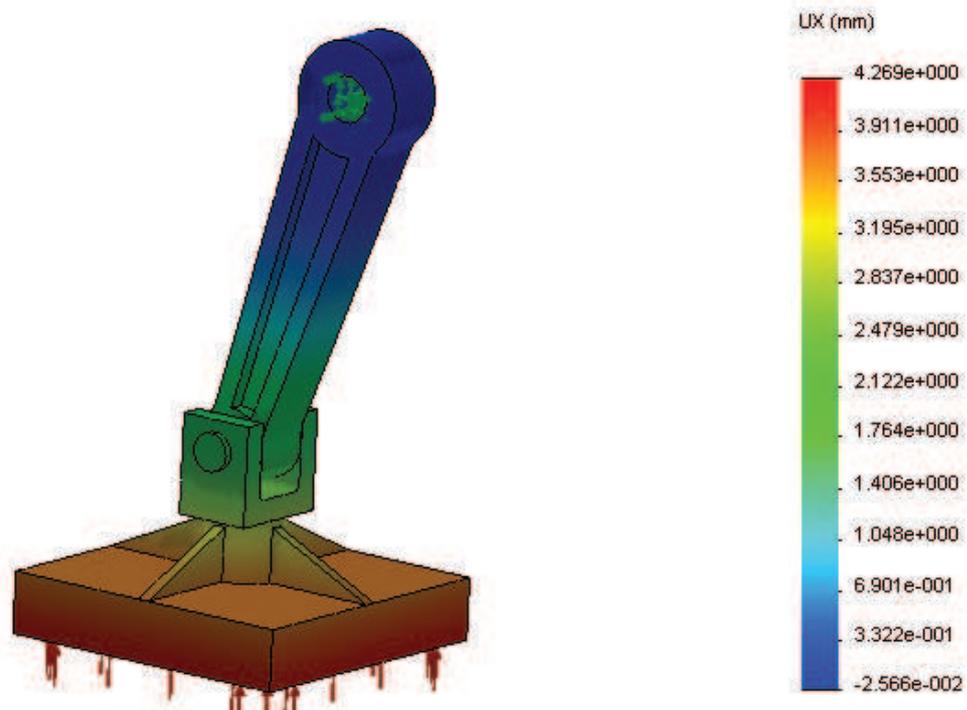


Fig. 3.18. Desplazamientos en el eje de compresión del estudio del mecanismo de la compactadora.

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 la biela y del pasador o bulón.

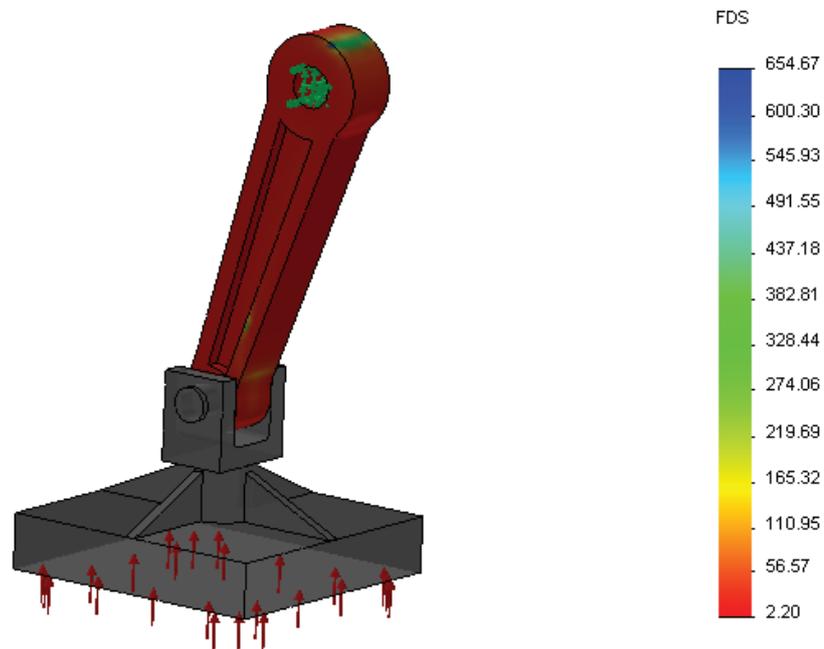


Fig. 3.19. Factor de seguridad de biela.

En la figura 3.19 se puede apreciar el factor de seguridad mínimo en la biela es 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.

En el bulón se encontró un factor de seguridad mínimo de 7,88 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 determinó elevado en comparación con el anterior debido a que él va a estar sometido a desgaste y a grandes cargas y la integración de estas condiciones no se modelaron en este estudio (ver figura 3.20).

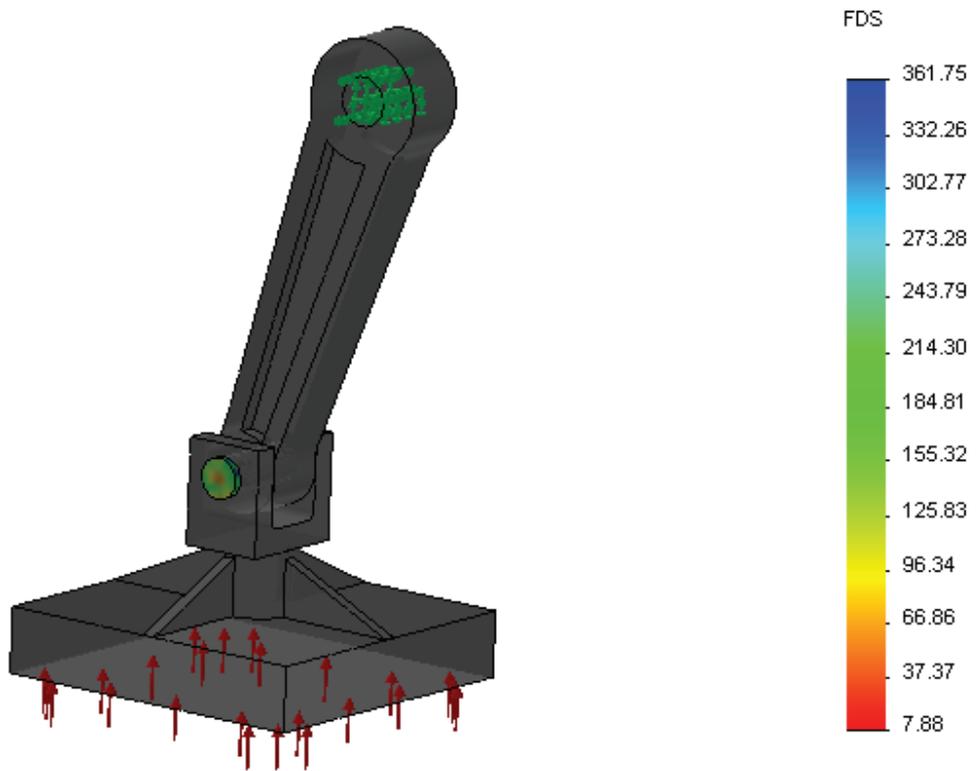


Fig. 3.20. Factor de seguridad de pasador o bulón.

CONCLUSIONES

- Se determinó la velocidad y la aceleración de cada uno de los elementos del mecanismo para el accionamiento de la compactadora para chatarra de aluminio.
- Se modelaron los elementos del mecanismo de palancas pertenecientes a la máquina compactadora de chatarras para chatarra de aluminio.
- El análisis efectuado al mecanismo para la compactadora de chatarra de aluminio permitió conocer que las dimensiones y materiales designados cumplen con las condiciones necesarias para su funcionamiento, dentro de los parámetros de diseño de este tipo de equipos.

RECOMENDACIONES

- Realizar un diseño de detalle para determinar los planos de las piezas y del ensamble del mecanismo para las compactadora de aluminio.
- Realizar el diseño completo de la compactadora de aluminio y que se tome en cuenta el estudio desarrollado en esta investigación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] C. A. Harper. (2001). *Handbook of Materials for Product Design (Tercera ed.)*.
- [2] C. D. Cunalata, "Diseño y análisis estructural de un prototipo de compactadora para chatarras de aluminio para el reciclaje.," Trabajo de Diploma, Dpto. Ciencias Técnicas, Universidad de Granma, Granma, 2011.
- [3] "Enciclopedia Moderna Larouse," vol. 8, ed, 1998.
- [4] M. Mallo, *Herramientas de conformar*, Segunda Edición ed. Habana: Pueblo y Educación, 1988.
- [5] B. H. Amstead, F. Ostwald, and I. Begeman, *Procesos de Manufactura* C.E.C.S.A, 1990.
- [6] H.-P. Kienle, W. Abt, and A. Bareis, "Prensa excéntrica con posicionado regulado del árbol principal," Dinamarca Patent, 2006.
- [7] L. Alting, *Procesos para Ingeniería de Manufactura*.
- [8] G. Amésquita, "Diseño de una prensa neumática," Máster en Ciencias, Sección de Estudios de Postgrado e Investigación, Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Mexico, D. F., 2003.
- [9] J. Arzola, R. Simeón, and R. Santana, "Evaluación de indicadores subjetivos durante el diseño óptimo con objetivos múltiples de herramientas para la conformación de metales," *Ingeniería Mecánica*, vol. 4, pp. 31-40, 2001.
- [10] M. Mallo, *Conformación de metales*, Segunda Edición ed. Habana: Pueblo y Educación, 1987.
- [11] M. Soler, "Diseño de una compactadora doméstica para facilitar el reciclaje," Tesis de Pregrado, Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Industrial de Barcelona, Universidad Politécnica de Barcelona, Barcelona, 2010.
- [12] (2013). *CAPITULO 2. Tipos de compactadoras de chatarra*". Available: <http://www.espe.edu.ec>
- [13] G. Tchobanoglous, H. Theissen, and E. R., *Desechos sólidos , principios de la ingeniería y administración*. . Mérida-Venezuela, 1982.

- [14] J. Jimenez and O. Rosas, "Diseño de una máquina compactadora de chatarra de aluminio para producir pacas de 65 kg," Tesis para optar por el título de ingeniero mecánico, Quito, 2009.
- [15] (2013). *CAPITULO 3. "Definición de características de diseño"*. Available: <http://www3.espe.edu.ec:8700/bitstream/21000/300/7/T-ESPE-026443-3.pdf>
- [16] E. Shigley J. and M. C., *Diseño en ingeniería mecánica*, Quinta edición (cuarta en español) ed. México, 1990.
- [17] (2013). *Reciclaje de aluminio y otros metales*. Available: <http://www.biodegradable.com.mx>
- [18] (2013). *El reciclado del aluminio y la ecología*. Available: <http://www.ingenieroambiental.com>
- [19] (2013). *Consejos para el reciclaje de latas*. Available: http://www.biodegradable.com.mx/Tips_latas.html
- [20] (2013). *Reciclado de aluminio*. Available: <http://www.costaricareciclaje.com>
- [21] S. A. Marrero and J. Martínez, "Estrategia para el diseño paramétrico basado en modelos," *Ingeniería Mecánica*, vol. 11, pp. 39-46, 2008.
- [22] L. L. Otero, "Aprendiendo sobre el Método de los Elementos Finitos.," *Ingeniería Mecánica*, vol. 9, pp. 7-17, 2006.
- [23] S. Kalpakjian and S. R. Schmid, *Manufactura, Ingeniería y Tecnología* Mexico: Person Educacion de Mexico, 2010.
- [24] Z. Chenung, *The Finite Element Method in Structural and Continuum Mechanics*. London: Mc Graw-Hill, 1967.
- [25] H. Calzadilla, "Optimización del bastidor principal de un Alisador agrícola para el cultivo del arroz," Tesis Maestría, Centro de Estudios CAD/CAM, Universidad de Holguín, Holguín, 2005.
- [26] Przemieniecki, *Theory of Matrix Structural Analysis*. New York: Mc GRaw-Hill, 1968.
- [27] A. Carnicero. (2010). *Introducción al método de los elementos finitos* Available: www.iit.upcomillas.es/~carniceroResistenciaIntroduccion_al_MEF.pdf

- [28] Oden, "Some aspects of recent contributions to the mathematical theory of finite elements," *Advances in Computational. Methods in Structural Mechanics and Design*, 1972.
- [29] R. Estrada, "Herramientas Informáticas aplicadas al diseño mecánico avanzado," Curso, Curso, Universidad de Holguín, Holguín, 2006.
- [30] (2013). *Sistemas CAD (Computer Aided Design) y CAM (Computed-Aided Manufacturing) en la manufactura moderna*. Available: <http://html.rincondelvago.com/sistemas-cad-y-cam-en-la-manufactura-moderna.html>
- [31] Courant., "Variational methods for the solution of problems of equilibrium and vibrations," *Bulletin of American Mathematical Society*, vol. 49, pp. 1-43, 1943.
- [32] R. Norton, *Diseño de maquinaria* vol. 1: McGraw-Hill Interamericana, 2009.
- [33] F. De la Rosa and S. Rubio. (15 de mayo). *Introducción a la síntesis cinemática: métodos analíticos gráficos y lineales*. Available: www.monografias.com/trabajos-pdf/sintesis-cinematica/sintesis-cinematica.pdf
- [34] J. L. Betancourt, "Diseño de mecanismos de palancas asistido por computadora.," *Ingeniería Mecánica* vol. 4, pp. 35-39, 2001.
- [35] B. Voronin F and J. Álvarez, "Un método analítico de análisis cinemático de mecanismos articulados," *Revista Iberoamericana de Ingeniería mecánica*, vol. 12, pp. 05-14, 2008.
- [36] R. Mott, *Diseño de Elementos de Máquinas*: Prentice Hall Hispanoamericana, S.A., 2010.
- [37] W. Callister, *Ciencia e Ingeniería de los Materiales*: McGRAW-HILL, 2010.