



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 DE UN PROTOTIPO DE MÁQUINA PARA LA EXPANSIÓN
DE TUBOS DE PEQUEÑOS DIÁMETROS Y ESPESORES CON
FINES DOCENTES**

GILBERT DANIEL PILCO CHIMBORAZO
JUAN PATRICIO CHULCA LLANO

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

LATACUNGA-ECUADOR
“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 DE UN PROTOTIPO DE MÁQUINA PARA LA EXPANSIÓN DE TUBOS DE PEQUEÑOS DIÁMETROS Y ESPESORES CON FINES DOCENTES.”

Diplomantes: Gilbert Daniel Pilco Chimborazo
Juan Patricio Chulca Llano

TUTORES: M.Sc Ing. Jorge Alexander Bosch Cabrera
M.Sc Ing. Yusimit Karina Zamora Hernández

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

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

AGRADECIMIENTO

A Dios por darme la oportunidad de estar en este mundo por darme la fortaleza, confianza, humildad, sabiduría, prudencia y seguridad para seguir en el duro caminar de cada día enfrentándome a las adversidades para así alcanzar las metas que me he propuesto.

A ti Padre Celestial ya cada qué día me pone pruebas para a ver si desmayo pero él me cobija con su manto me da fuerzas de aliento, con fe en el todo se puede lograr ya que el bendice mi familia los cuales llevo en mis pensamientos, mi corazón y gracias a ello puedo tomar decisiones.

A la **UNIVERSIDAD DE ECUADOR** y la **UNIVERSIDAD DE CUBA**, por darme la oportunidad de obtener una profesión, de manera especial a la especialidad de Ingeniería Electromecánica.

A mis profesores que siempre me apoyaron de una u otra manera y que me enseñaron a más de lo teórico que nada es imposible en la vida tan solo hay cosas difíciles, que todo está en la mente que si te propones se puede lograr y con Dios todo se puede.

GILBERT DANIEL PILCO CHIMBORAZO

DEDICATORIA

Este trabajo lo dedico a mis queridos abuelitos que para mí fueron como mis padres: José Elías Pilco y Rosario Pilco Aucapiña, que en paz descansen son el motor de mi inspiración las bases fundamentales de enseñanza en mis primeros años de vida a más a eso a mis padres Luis y Hortencia por todo el esfuerzo realizado, por haber confiado siempre en mí a pesar de mis tropiezos y equivocaciones, por brindarme su apoyo incondicional en el estudio, quienes me supieron aconsejar de lo que es bueno en la escuela de aprendizaje diario así: culminar con éxito mi Ingeniería.

A mi hermana: Joselyn que siempre estuvo ahí apoyándome, compartiendo cada una de las etapas de la vida.

A mi hermano: Lizandro, de quien recibí respeto, comprensión, apoyo incondicional en todo este tiempo.

A mi cuñada: Soraya que de una u otra manera me ha estado prestando su apoyo incondicional.

A todos aquellos amigos que compartieron mi niñez, juventud y en especial a aquellos con los que compartí mi vida estudiantil.

A todas aquellas personas con quienes disfrute de mi estancia en Cuba, en especial a mis tutores Jorge Bosch y Yusimit Zamora quienes contribuyeron de manera significativa en el desarrollo y culminación de mi tesis.

GILBERT DANTEL PILCO CHIMBORAZO

DEDICATORIA.

Dedico este Trabajo de Tesis con todo mi Corazón, Cariño, Amor, Respeto y Aprecio a todas las personas que hicieron que esto fuese posible, que siempre estuvieron a mi lado apoyándome, en especial a mis Padres, Hermanos, Hermanas, Cuñada, a mis Sobrinos y sobre todo las cosas a Dios por haberme dado la salud, fuerzas necesarias y muchas ganas para elaborar el Proyecto de Tesis.

A mis padres quienes han estado en los momentos más felices y tristes que siempre me han brindado su apoyo absoluto para ser una persona de bien y responsable. Qué con su amor, consejos y apoyo incondicionales me han dado esperanzas para vivir, seguir adelante y así para cumplir, mis sueños y con mi meta anhelada en mi vida y que con el transcurso del tiempo ser una persona de respeto y triunfos.

A mis Hermanos, Hermanas, Cuñada, y a mis Sobrinos que en el transcurso del tiempo me han brindado su Amistad, Cariño, Amor y sobre todas las cosas Comprensión en los buenos y malos momentos para así luchar día a día por cumplir nuestras Metas Planteadas a través de nuestros Padres que nos han inculcado para ser unas personas de bien en nuestras vidas.

JUAN PATRICIO CHULCA LLANO

AGRADECIMIENTOS.

Agradezco a la UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI Y a la UNIVERSIDAD DE GRANMA - CUBA quien me brindó todo el apoyo para la obtención de mi título en la Carrera de INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA.

Al M.Sc. Jorge A. Bosch Cabrera, M.Sc. Yusimit K. Zamora Hernández, a mis (Tutores) por su constante esfuerzo y apoyo incondicional, así como su sabia orientación, entrega, paciencia y así culminar con éxito mi Tesis.

A mi Hermano: Cristian Chulca quién fue la persona que siempre ha estado conmigo en los momentos más felices de mi vida.

A mi Hermano Gemelo: Vicente Chulca porque es la persona más importante de mi vida que me ha brindado su apoyo moral e incondicional, amistad y sobre todo fuerzas para seguir siempre hacia adelante.

A mi Hermana: Flor Chulca quién con su cariño, respeto, estuvo ayudándome en los momentos críticos de mi vida y alegres.

A mi Hermana: María José Chulca qué con su calidez, ternura y su forma de ser siempre estuvo compartiendo conmigo en los momentos buenos y malos.

A mi Hermano: Kevin Rafael Chulca porqué con su Ternura, voz de Aliento Dulce y Angelical me recordaba para seguir adelante y me daba ánimos para lograr mi Meta Anhelado por mucho tiempo y a futuro brindarle siempre mi apoyo incondicional.

A mi cuñada: Blanca Gómez qué con sus consejos incondicionales siempre me ha dado fuerzas para seguir adelante.

Y por último para toda mi Familia y Amigos que siempre me brindaron el apoyo necesario y moral para seguir siempre hacia adelante, especialmente a mis Padres quienes fueron mi mano derecha, para poder cumplir mi sueño tan anhelado.

JUAN PATRICIO CHULCA LLANO.

RESUMEN

Esta investigación tiene como objetivo diseñar mediante la modelación y un posterior análisis por el método de los elementos finitos un prototipo de máquina con fines docentes para expansionar tubos de pequeños diámetros y espesores. Se realizó a través de la matriz morfológica la cual permite la obtención de la solución por la combinación sistemática de un conjunto de conceptos posibles. De ellos, solo fueron analizados dos conceptos para realizar el prototipo teniendo en cuenta las condiciones de funcionamiento de la máquina, el seleccionado para la fabricación del prototipo fue la variante de concepto 1, ya que esta cumple con los requerimientos funcionales para los cuales está concebida.

Máquina tamaño pequeña + Tubos de espesor y diámetros pequeños + Forma expansionador + Mecanismo de accionar hidráulico + Estructura tubos de perfil cuadrado + Sistema de suministro de energía corriente eléctrica.

Los elementos del prototipo se modelaron con el software SolidWorks 2010, además de que se utilizó el módulo de cálculo por elementos finitos con que consta el software, *Simulation*, a través del cual se realizó un análisis estático al conjunto pistón y al tubo que se expansionará. Las tensiones máximas de Von Mises obtenidas en el estudio realizado en el conjunto pistón se encuentran por debajo del límite elástico estando el factor de seguridad en los niveles aceptables de fiabilidad del diseño, lo que demuestra que el conjunto resiste a la fuerza que será ejercida por el accionamiento hidráulico.

Palabras claves: Diseño, prototipo, máquina para expansionar tubos.

ABSTRACT

This research aims to design by means of modeling and further analysis by the finite element method a machine prototype for teaching to expand small tube diameters and thicknesses. The solution obtained by systematic combination of a set of concepts was made possible through the matrix morphology.

Of these, taking into account the conditions of the machine only two concepts were analyzed, and selected to manufacture the prototype was the concept variant 1 as it meets the functional requirements for which it is designed

Machine Size Small + pipes and small diameter + thickness expander Form hydraulic actuating mechanism + + Structure square profile tubes + power supply system current.

The prototype was modeled with the SolidWorks software 2010 in addition to that used by the calculation module which comprises finite element software, Simulation, whereby static analysis was performed with the piston and the tube will expand. Von Mises's maximum tensions obtained in the study accomplished in the set find piston underneath the elastic limit being the safety factor in the acceptable levels of reliability of the design, what he proves that the musical group resists by force that he will be exercised by the hydraulic working.

Keywords: Design, prototype machine for expanding tubes.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES Y ESTADO ACTUAL DEL ABOCARDADO Y LA EXPANSIÓN DE TUBOS.....	4
1.1- Abocardado o expansión de tubos.....	4
1.2- Aplicaciones del abocardado o expansión en los tubos.....	5
1.3- Máquinas para expandir o abocardar tubos.....	9
1.4- El diseño mecánico.....	12
1.5- El diseño asistido por computadora (CAD).....	14
1.5.1- SolidWorks.....	15
1.5.2- Análisis del Simulation.....	17
1.6- Propiedades de los materiales [PROPIEDADES 2011].....	17
1.7- Diseño de máquinas para expandir tubos.....	19
CAPÍTULO II: MATERIALES Y MÉTODOS.....	21
2.1- Procedimiento para diseñar el prototipo de máquina para la expansión de tubos.....	21
2.2- Estudio de máquinas para expandir tubos.....	21
2.3.- Modelación de las piezas con sus dimensiones en el paquete de diseño CAD 3D.....	22
2.4- Ensamble del modelo de máquina para expandir tubos.....	23
2.5- Asignación de los materiales y sus propiedades mecánicas a los modelos de piezas.....	23
2.6- Mallado de los modelos de piezas involucrados en el análisis.....	24
2.6.1- Estudio del modelo del prototipo de máquina para la expansión de tubos por el Método de los Elementos Finitos (MEF).....	24
2.6.2- Asignación de las cargas y restricciones presentes en los modelos.....	25
2.7- Informe de los resultados obtenidos.....	26
CAPÍTULO III: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.....	27
3.1- Concepción de un principio de solución.....	27
3.3- Modelos de las piezas que conforman del diseño del prototipo de máquina para expandir tubos.....	31
3.4- Modelo de ensamble del prototipo de máquina para expandir tubos....	37

3.5 - Asignación de los materiales y sus propiedades mecánicas a los modelos de piezas que conforman el prototipo de máquina para expansionar tubos.	38
3.6- Mallado de los estudios realizados al prototipo de máquina para expansionar tubos.....	41
3.7- Análisis de los resultados obtenidos en los estudios por el método de los elementos finitos.	42
3.7.1- Representación de las cargas y restricciones.	43
3.7.2- Resultados obtenidos en el estudio por el método de los elementos finitos.	44
CONCLUSIONES	47
RECOMENDACIONES	48
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	1

INTRODUCCIÓN

Cualquier máquina, por grande, pequeña o compleja que sea, consta de varios conjuntos, órganos, mecanismos y piezas. La pieza que es la unidad elemental de la máquina se elabora y confecciona con la utilización o no de dispositivos de montaje [Parker 2011; Perdomo 2012].

Las grandes innovaciones tecnológicas en los países desarrollados generan un aumento industrial, por lo cual hoy en día los procesos son realizados en forma automática dejando obsoleto a lo tradicional.

En la actualidad una de las formas de generar empleo en lugares con mayor población y con menos fuentes de trabajo en países de Latinoamérica es la búsqueda de alternativas de trabajo, por lo que se fomenta la fabricación de pequeñas industrias, máquinas y equipos siempre que existan las condiciones materiales y el presupuesto disminuyendo costos comparado con las máquinas de última tecnología.

En el Ecuador la carencia de máquinas de tecnología de punta y su difícil acceso a la misma, conlleva a que las instituciones de educación superior tengan cada vez laboratorios menos actualizados, requiriéndose una implementación continua de herramientas maquinarias entre otras, afectando esto al perfil del egresado. En la Universidad Técnica de Cotopaxi la falta de bancos de pruebas o modelos didácticos en la carrera de Electromecánica, no hacen factibles que los estudiantes plasmen lo teórico en lo práctico.

Por otra parte es importante solucionar uno de los problemas de Manejo, Uso y ahorro de materiales para la fabricación de productos metálicos del hogar que ayuden a mejorar la calidad de vida de las personas.

El proceso de expansión o compresión de tubos tiene una amplia aplicación en la industria actual que va desde las redes sanitarias, de climatización y refrigeración hasta la industria automotriz y agrícola [Parker 2011]. Este proceso de expansión consiste en deformar el extremo del tubo por medio de la presión ejercida por prensas hidráulicas, hasta conseguir unos borbotones de determinadas

dimensiones, preparando el tubo para su ensamblaje con otros dispositivos y que realice posteriormente su destino de servicio [AGME 2011].

Problema científico:

La no existencia de una máquina de expansionar tubos de pequeños diámetros y espesores con fines docentes en la carrera de ingeniería electromecánica en la Universidad Técnica de Cotopaxi.

Objeto de estudio: Máquina para la expansión de los extremos de los tubos de pequeños diámetros y espesores.

Campo de acción: Diseño de un prototipo de máquina con fines docentes para la expansión de los extremos de los tubos de pequeños diámetros y espesores.

Hipótesis:

Con el diseño de un prototipo de una máquina de expansionar tubos de pequeños diámetros y espesores se puede obtener una mejor aplicación práctica de los conocimientos teóricos en los estudiantes de ingeniería electromecánica en la Universidad Técnica de Cotopaxi.

Objetivo general:

Diseñar mediante la modelación y un posterior análisis por el método de los elementos finitos un prototipo de máquina con fines docentes para expansionar tubos de pequeños diámetros y espesores.

Objetivos específicos:

1. Revisar la bibliografía vinculada con el tema.
2. Estudiar las máquinas con funciones similares.
3. Modelar las piezas pertenecientes al prototipo de máquina de expansionar tubos.
4. Ensamblar el modelo de prototipo de máquina de expansión de tubos.
5. Analizar estructuralmente el modelo del prototipo de máquina de expansionar de tubos con sus cargas correspondientes.

6. Evaluar los resultados finales.
7. Elaborar el informe técnico correspondiente.

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 máquina para expansionar tubos 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.

CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES Y ESTADO ACTUAL DEL ABOCARDADO Y LA EXPANSIÓN DE TUBOS.

1.1- Abocardado o expansión de tubos.

El proceso de abocardado o expansión consiste en deformar el extremo o extremos de los tubo por medio de una presión ejercida en sus paredes de forma radial [Dictionaries 2012], acción realizada generalmente por prensas hidráulicas, mecánicas o de manera manual hasta conseguir unos borbotones de determinadas dimensiones (ver figura 1.1) en dependencia del destino de servicio del tubo.



Fig. 1.1- Abocardado o expansión de tubos. a) abocardado. b) Expansión [Aires acondicionados 2011].

Gracias a este proceso de abocardado de tubos se ha conseguido ensamblar de forma rápida y eficaz los las conexiones entre los tubos que componen la estructura inferior de los asientos de los coches garantizando la calidad final de la pieza ensamblada, así como una amplia gama de aplicaciones en la tecnología actual [AGME 2011].

Características del expansionador:

El dispositivo expansionador es una herramienta de bricolaje muy empleada en fontanería, para la expansión de tuberías metálicas. Su utilidad está en el ensamblado de tuberías, y permite agrandar la boca de los tubos, dándoles forma de bocina para que se encajen uno dentro de otro [Abocardado 2010]. El tamaño y forma de los expansionadores difiere según su uso (ver figuras 1.2 y 1.3), los de

fontanería están destinados a tuberías de mayor diámetro, por tanto serán de mayor tamaño. Los de aire acondicionado sirven para tuberías de diámetro pequeño y por tanto deben tener un tamaño acorde.



Fig. 1.2- Dispositivos expansionadores [REMS 2012].



a)
Fig. 1.3- Expansionador manual. a) Cono del expansionador. b) Expansionador [Aires acondicionados 2011].

1.2- Aplicaciones del abocardado o expansión en los tubos.

Este proceso tiene disímiles aplicaciones desde una tubería de cobre para una instalación de un equipo de clima hasta en la industria aeroespacial, ya que generalmente cuando existe conexión entre tubos hay que preparar sus extremos para que la conexión sea lo más exacta posible sin que existan holguras que provoquen futuros desajustes o escape de fluidos o gases.

- **Aplicación en la maquinaria agrícola, de la construcción y automovilística.**

Esta tecnología se aplica en la maquinaria agrícola, de la construcción así como la automovilística en la conexión de mangueras para la distribución de fluidos en el sistema, sobre todo en mecanismos de acción hidráulica (ver figura 1.4).



Fig. 1.4- Mangueras preparadas para la conexión hidráulica de equipos de la construcción [Sistemas 2012], [Parker 2011].

- **Aplicación en equipos de control de clima.**

Mientras que en los equipos de control de clima se encuentra presente en la conexión de tubos de cobre para la transportación de los gases refrigerantes en el mecanismo (ver figura 1.5).

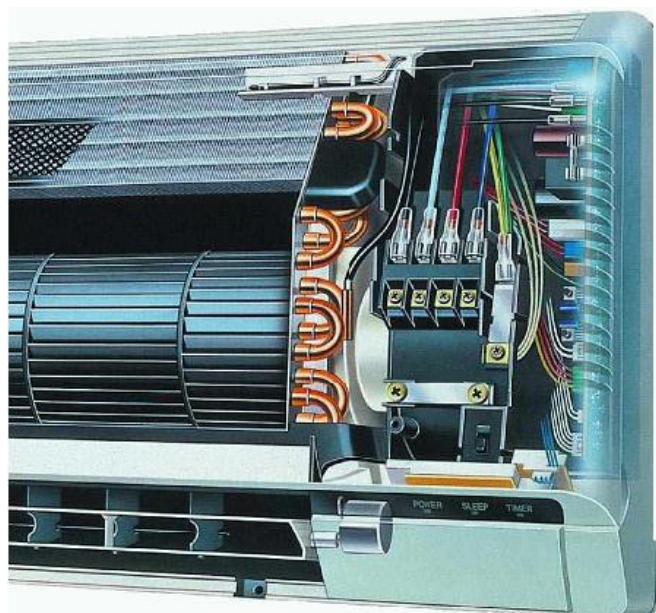


Fig. 1.5- Tubos expansionados en la conexión de un equipo de clima [Panasonic España S.A. 2001].

- Aplicación en redes hidráulicas e industriales.

En las redes hidráulicas también existe este proceso de expansión y abocardado de los extremos de los tubos, sobre todo en redes para vehicular aire comprimido, vacío, gases neutros y aguas industriales, así como en aplicaciones especiales como tecnología de procesos, industria química y extracción de petróleo (ver figura 1.6). Este tipo de tuberías con esos fines requiere de gran resistencia a la corrosión, a los entornos agresivos y a las variaciones de temperaturas. Fabricándose generalmente de acero inoxidable [AUXITEC 2012].



Fig. 1.6- Abocardado y expansión de tuberías con fines industriales e hidráulicos [AUXITEC 2012].

- Aplicación en la fabricación de artículos del hogar.

Existen en la actualidad en la amplia gama de artículos del hogar y sus variadas maneras de fabricación y dando solución a las necesidades actuales una serie de artículos que por su destino de servicio se fabrican por tubos unidos mediante la expansión de sus extremos. Generalmente estos artículos tienen una función plegable, es decir que se pueden armar y desarmar o encogerse (ver figura 1.7). Esta acción de expansión de tubos para artículos del hogar generalmente es realizado en tubos de aleación de aluminio o metal ferroso de bajo contenido de carbono donde se le aplica una fuerza radial de la parte interior del tubo con un dispositivo expansionador hasta deformar la sección transversal del tubo. Esta deformación del tubo expansionado tiene que garantizar que su diámetro interior expansionado sea igual al diámetro exterior del tubo acoplado con una pequeña holgura que permita su deslizamiento pero no un desajuste.

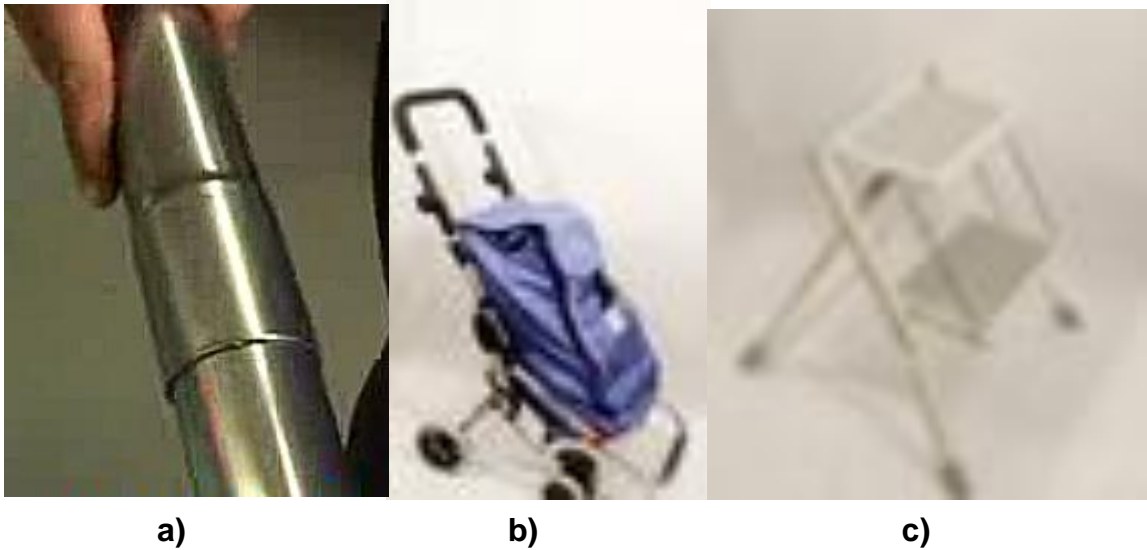


Fig. 1.7- Aplicaciones de la expansión de tubos en artículos del hogar. a) acción de expandir, [ABOQ-80 2011] b) carro de compras, c) escalera metálica [PERCHAS 2012].

Esta operación de expansión se realiza en tubos de diversos diámetros y espesores siempre normalizados estos, y estando en dependencia del tipo de máquina que ejerza la fuerza para la expansión que la cual es perpendicular a la superficie transversal del tubo y tiene que ser mayor que la resistencia a la deformación o punto de cedencia del metal con que es fabricado el tubo (ver figura 1.8). En esta investigación la expansión de tubos de pequeños diámetros y espesores para el ensamblaje de artículos del hogar forma parte de la variable independiente por lo cual los elementos antes mencionados tienen que ser tomados en cuenta para el diseño de la máquina con fines docente para la expansión de tubos.

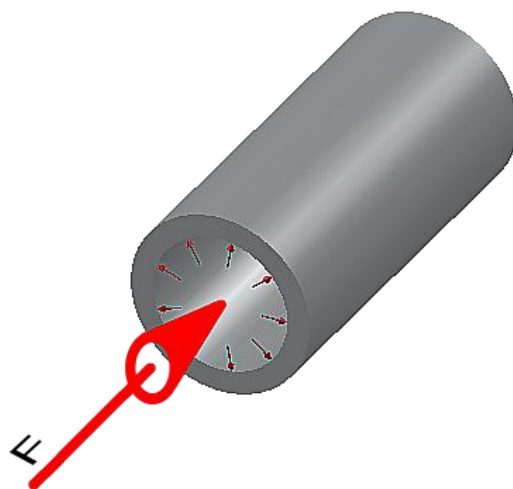


Fig. 1.8- Representación de la fuerza aplicada para la expansión del extremo del tubo.

1.3- Máquinas para expandir o abocardar tubos.

Las empresas dedicadas a la fabricación de máquinas-herramientas por deformación se han dedicado también al diseño y manufacturado de rápidos y eficaces módulos de abocardado y expansión de tubos como lo es la empresa AGME, la cual ha desarrollado e integrado un módulo hidráulico-neumático formado por 2 unidades de abocardado confrontadas, dos carros de desplazamiento de las unidades, un carro de extracción de la pieza terminada y un dispositivo de engrase de los útiles para un fabricante de asientos de autos. Cada una de las unidades de abocardado está compuesta por una prensa hidráulica, un juego de mordazas de montaje y sujeción del tubo, juegos de útiles abocardado controlados por una alimentación manual del tubo sobre las mordazas (ver figura 1.9) [AGME 2011].

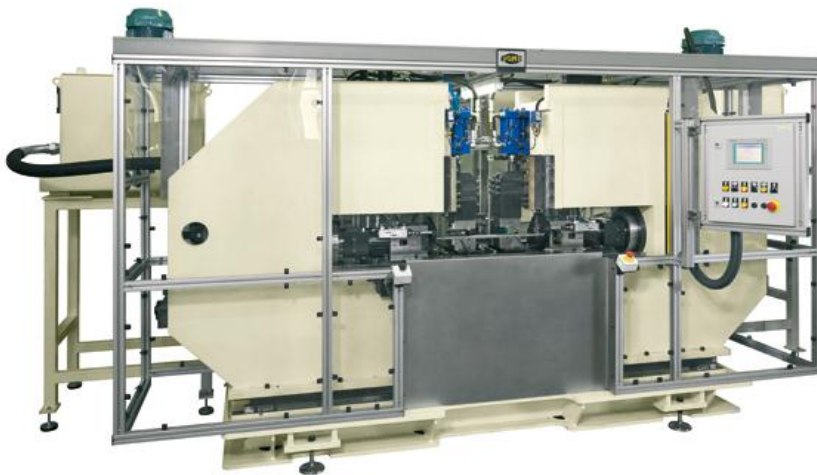


Fig. 1.9- Módulo hidráulico – neumático de abocardado AGME [AGME 2011].

También se han desarrollado máquinas para el acampanado de tubos plásticos, por ejemplo la empresa italiana IPM presenta una serie de máquinas muy innovadoras, que pretenden ofrecer un elevado valor añadido a los productos fabricados. Presentando una nueva gama de acampanado completamente automatizado en línea para la formación del acampanado del tubo por inyección, directamente sobre la doble pared del tubo corrugado. Con gran versatilidad ya que es capaz de acampanar tanto polietileno como polipropileno, cambiando únicamente los moldes. Esta tecnología es capaz de producir desde 95 abocardados/hora con un diámetro externo de 110mm hasta 26 abocardados/hora con un diámetro externo de 500mm (ver figura 1.10). Produciendo cuatro modelos

diferentes para tubos de gran diámetro, de longitud hasta 6m (o 12m bajo pedido), más concretamente:

- BA 500 INJ para diámetro externo: 110/500mm
- BA 680 INJ para O.D.: 200/900mm



Fig. 1.10- Acampanado en línea para tubos de pp y pe [IPM 2010].

El acampanado utiliza el mismo polímero sobre el que está producido el tubo: polietileno o polipropileno. Garantizando con este proceso la fiabilidad, la total estabilidad dimensional del abocardado en el tiempo (a pesar de contar con las temperaturas ambientales más diversas), pero sobre todo, la repetitividad del ciclo, independientemente de las características de la materia prima usada y de las múltiples formulaciones.

Se abocarda por medio de placas calientes con la forma cónica formadora para cada caso, y con control de presión, temperatura y tiempo comandados por un PLC.

En algunos métodos de abocardado de tubos, incluyendo muchos que emplean el abocardado por compresión uno de los cuales se describe en la patente de EE.UU. N4.228.573, y en algunos que emplean el abocardado por tensión, uno de los cuales se describe en la patente de EE.UU. N4.584.765, todos los tubos en horquilla del intercambiador de calor se abocardan al mismo tiempo. Con ello, ambas ramas de cada tubo en horquilla se abocardan simultáneamente y no surge el problema de la proyección desigual de los tubos [IPM 2010].

La industria del abocardado y la expansión de los extremos de los tubos también se ha especializado en la fabricación de pequeñas máquinas de producción eficientes para conexiones orbitales y conexiones O - Lok y Triple – Lok. Un ejemplo de ello lo es el centro de trabajo Parflange® 50 siendo una máquina de gama superior combinando el concepto práctico del centro de trabajo EO2 –

FORM F3 con la tecnología probada de Parflange® gracias a un robusto diseño y control de proceso este centro de trabajo alcanza resultados de alta calidad y elevada productividad. La estructura de la máquina, el programado de ciclos y todos los elementos de funcionamiento están diseñados para una ergonomía adecuada, flujo de trabajo óptimo y la más alta seguridad. Lo compacto de la unidad Parflange® y su estructura, permite el conformado de curvaturas para tubos muy pequeños y complicados. La vida útil máxima de la herramienta se consigue gracias a su sistema de lubricación automática, así como una fácil visibilidad y accesibilidad al área de trabajo de la máquina. Los compartimentos integrados para el herramental y el espacio designado para cajetines de tuercas y férulas hacen de la Parflange® 50 una máquina cómoda y eficiente para trabajar. El centro de trabajo Parflange® 50 es ideal para producción en serie, particularmente en manipulación de tubo para hidráulica móvil. Gracias a su concepción como Centro de Trabajo, también es perfecta para trabajos de proyectos en barcos e industria de maquinaria especial, como fábricas de papel, líneas de distribución o prensas hidráulicas [Parker 2011] (ver figura 1.11).



Fig. 1.11- Centro de trabajo para el abocardado en conexiones orbitales, O Lok y Triple O – Lok [Parker 2011].

Otro modelo de máquina de pequeño porte para el abocardado lo constituye la máquina para abocardar hidráulica a 74° 1015-1 con bomba de mano para tubos de 6 a 42 mm de diámetro exterior. Siendo esta máquina una unidad portátil de uso sencillo para la preparación de tubos con racores Triple O – Lok a 74° [AUXITEC 2012] (ver figura 1.12).



Fig. 1.12- Máquina hidráulica para el abocardado a 74° [AUXITEC 2012].

1.4- El diseño mecánico.

El objetivo final de un diseño mecánico es obtener un producto útil que satisfaga las necesidades del cliente, que además sea seguro, eficiente, confiable, económico, y de manufactura práctica. Es importante considerar como se ajusta el proceso de diseño a todas las funciones que deben cumplirse para que se entregue un producto satisfactorio al cliente y para dar un servicio al producto durante su ciclo de vida. De hecho, es importante considerar como se desechará el producto después de haber llegado a su vida útil [Moot 2006]. El total de las funciones que afectan al producto se denomina *proceso de realización del producto (PRP)* el cual comprende algunos factores como son:

- Funciones de mercadotecnia para evaluar los requerimientos del cliente.
- Investigación para determinar la tecnología disponible que puede usarse en forma razonable en el producto.
- Disponibilidad de materiales y componentes que deben incorporarse al producto.
- Diseño y desarrollo del producto.
- Prueba de funcionamiento.
- Documentación del diseño.

- Consideración de suministro global de materiales y ventas globales.
- Conocimiento de la fuerza de trabajo que trabajará con el equipo.
- Planta e instalaciones disponibles.
- Capacidad de los sistemas de manufactura.
- Sistemas de planeación y control de la producción.
- Sistemas de apoyos a la producción y al personal.
- Requisitos de calidad.
- Requisitos del servicio del cliente.
- Problemas ambientales durante la fabricación, funcionamiento y disposición del producto.
- Requisitos legales.
- Disponibilidad del capital financiero.

Por las funciones antes expuestas para tener en cuenta en la fabricación de un producto y su posterior venta y explotación es necesario tener en cuenta una serie de aspectos en el proceso de diseño con el objetivo de que no ocurran problemas irremediables en procesos posteriores de la producción. Un ejemplo de los pasos a tener en cuenta en un proceso de diseño lo podemos ver en la figura 1.13.

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

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

Durante las últimas décadas se han hecho muchos esfuerzos para conseguir sistemas de modelado geométrico que resulten “amigables” para los diseñadores

y proyectistas y que produzcan modelo que sean “válidos” para todo el proceso de diseño [Cunalata 2011], [Moro 2002].

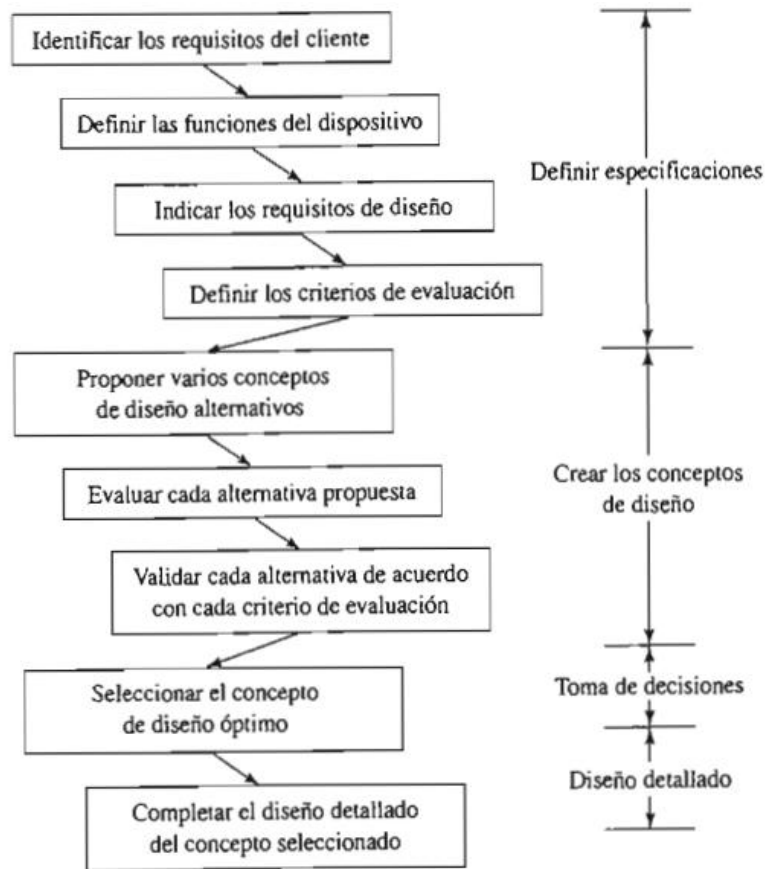


Fig. 1.13- Pasos en el proceso de diseño [Moot 2006].

1.5- El diseño asistido por computadora (CAD).

El diseño ha sido a lo largo de la historia el cálculo y análisis a la solución de un determinado problema teniendo como producto final una imagen gráfica. Esta imagen gráfica o dibujo por métodos tradicionales se elabora mediante papel y lápiz; con la informatización ascendente que se viene experimentando desde la década de los 70 surge una ciencia llamada gráfica por computadora agrupando en ella varias ramas de los efectos gráficos aplicados a la computación los cuales han ido expandiéndose en la actualidad. Una de estas ramas viene ligada al diseño y tiene por nombre diseño asistido por computadora o CAD [Bosch 2011]. Para ello se han creado software encargados de modelar los diseños teniendo un amplio campo en la actualidad tanto en dos como en tres dimensiones. Son muchos los software especializados en el mundo del diseño mecánico cada uno

con ciertas ventajas y desventajas como son compatibilidad y transferencias de datos, personalización, velocidad y comodidad para el diseñador, etc. Teniendo como aplicaciones fundamentales:

- 1- Diseño conceptual y de detalle.
2. - Generación de planos.
3. - Ensamblajes.
4. - Catálogo de piezas normalizadas.
5. - Definición de tolerancias.
6. - Representación realista (texturas).
7. - Diseño de superficies.
8. - Creación de matrices.
9. - Piezas laminadas.
10. - Conjuntos soldados.
11. - Animaciones.

Las tendencias actuales de los sistemas CAD es que existen en el siglo XXI más de dos millones de usuarios en el mundo que utilizan CAD 2D conociéndose como los más relevantes calificados entre los software CAD de bajo rango están el AutoCAD y el MicroStation Modeler. Existen otros tres millones de usuarios que utilizan CAD 3D cumpliendo con las exigencias de la ingeniería moderna. Algunos de estos softwares son el Solid Edge, Mechanical Desktop, Solid Works, Catia (P1), ProEngineer Foundation, I-DEAS Artisan Package e Inventor calificándose todos ellos entre los de rango medio. Entre los softwares CAD 3D de alto rango se encuentran el ProEngineer, Catia (P2), I-DEAS, y Unigraphics [Lastre 2010].

1.5.1- SolidWorks.

El Software de diseño SolidWorks que será utilizado en esta investigación 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% [Calzadilla 2005]. En encuesta realizada a más de 21,000 usuarios CAD se puede apreciar la aceptación del software (ver figura 1.14).

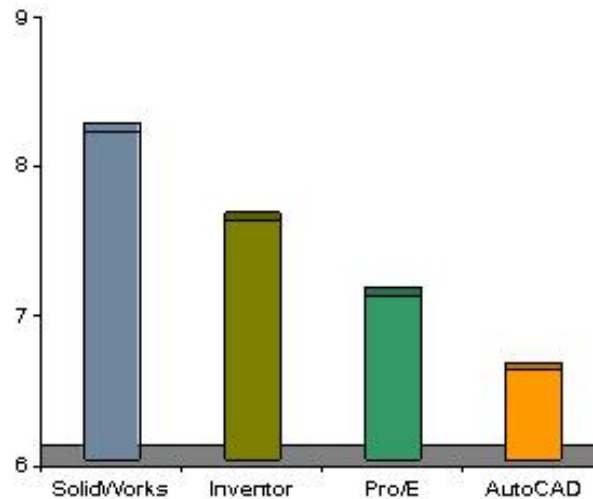


Fig. 1.14 Clasificación de aceptación de los usuarios CAD [Simon 2005].

El diseño del prototipo de máquina expansionadora de tubos se realizará por medio del software SolidWorks en su versión 2010. El software utiliza el método de elementos finitos. Este método es aceptado como el método de análisis estándar debido a su generalidad y la idoneidad para la aplicación informática. El método de elementos finitos divide el modelo en muchos pedazos pequeños de formas simple llamados elementos efectivos, sustituyendo un problema complejo por muchos problemas sencillos que se deben resolver simultáneamente. Los elementos comparten puntos comunes llamados nodos. El software divide al modelo en partes pequeñas este proceso se llama mallado.

Cada nodo está completamente descrito por una serie de parámetros en función del tipo de análisis y el elemento utilizado (ver figura 1.15).

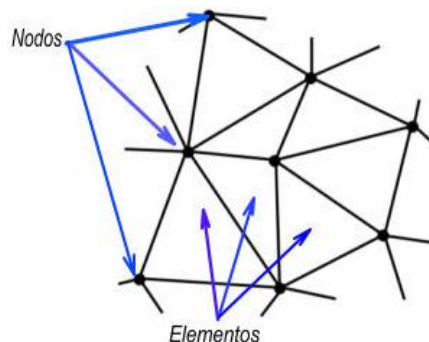


Fig. 1.15 – Malla formada por elementos y nodos [Bosch 2011].

Para el análisis estructural, la respuesta de un nodo se describe, en general, por tres traslaciones y tres rotaciones, llamados grados de libertad. El software formula las ecuaciones que rigen el comportamiento de cada elemento teniendo en cuenta la conectividad con otros elementos. Estas ecuaciones refieren su respuesta a las propiedades del material conocido, las restricciones y cargas. A continuación el programa organiza las ecuaciones en un gran conjunto de sistemas de ecuaciones algebraicas y resuelve las incógnitas. En el análisis de esfuerzo, por ejemplo, el solver encuentra los desplazamientos en cada nodo y a continuación el programa calcula la deformación y el esfuerzo final [CAPÍTULO 4 2011].

1.5.2- 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 a partir de su versión 2008 (muy similar al CosmosWorks, pero mucho más completo), con ello no es necesario exportar el modelo, con lo que se gana en tiempo y se mantiene la integridad del mismo. El modelo puede ser modificado y reanalizado en un momento dentro del mismo software. En lugar de crear manualmente estudios, mallar, ejecutar los diferentes tipos de análisis verificar los resultados. El SolidWorks junto con el Simulation no necesita de gran equipamiento técnico.

Este paquete tiene la capacidad de incluir propiedades de materiales personalizadas a la base de datos de materiales del software, establecer cargas y restricciones en superficies complejas, define contactos como uniones rígidas, sin penetración, zunchado, libre y pared virtual y el análisis de estudios estáticos, de fatiga, vibraciones, no lineal, frecuencia, pandeo, choque y optimización. Además es capaz de realizar los cálculos a los modelos a analizar con una elevada precisión en un corto período de tiempo.

1.6- Propiedades de los materiales [PROPIEDADES 2011].

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

1.7- Diseño de máquinas para expansionar tubos.

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

El diseño de los elementos, muchas veces resulta complejo en cuanto al cálculo de esfuerzos o desplazamientos y serian vanos si están basados en cargas incorrectas o si están mal definidas las características de diseño [CAPÍTULO 3 2011].

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

- Resistencia.
- Confiabilidad.

- Corrosión.
- Desgaste.
- Fricción (o rozamiento).
- 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 [Shigley and Mitchell 1985].

CAPÍTULO II: MATERIALES Y MÉTODOS.

2.1- Procedimiento para diseñar el prototipo de máquina para la expansión de tubos.

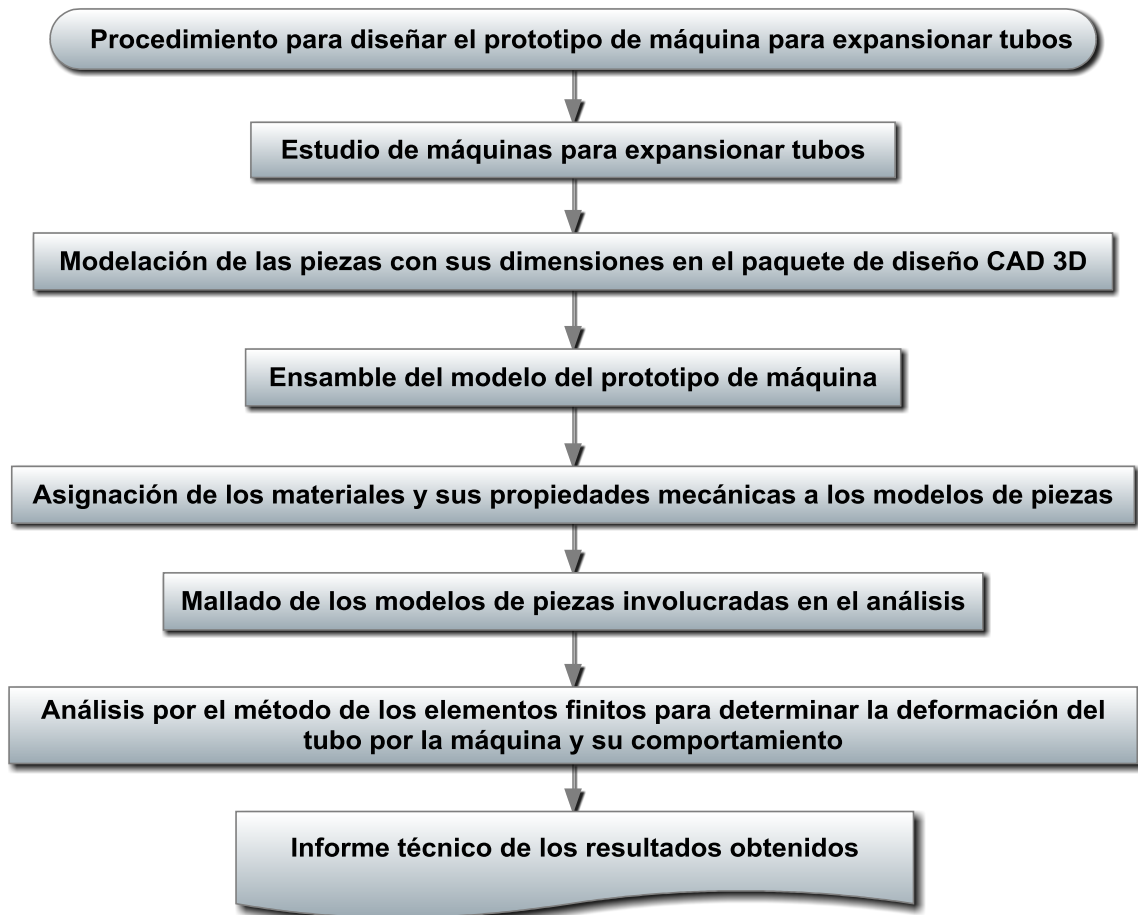


Fig. 2.1- Diagrama de flujo a seguir para el procedimiento del diseño del prototipo de máquina para la expansión de tubos.

2.2- Estudio de máquinas para expandir tubos.

Para el realizar el diseño del prototipo de máquina para la expansión de tubos con fines docentes a escala de laboratorio se partió primeramente de estudios a máquinas para abocardar y expandir con funciones similares, se desglosaron las diferentes tipos de máquinas por tamaño, tamaño de los tubos a expandir, formas de expandir y mecanismo que las acciona analizando todas estas variables en conceptos de soluciones mediante una matriz morfológica, ajustando

los resultados a las condiciones y requerimientos funcionales que exige el problema de investigación (ver tabla 3.1).

2.3.- Modelación de las piezas con sus dimensiones en el paquete de diseño CAD 3D.

Para modelación el prototipo de máquina para la expansión de tubos se utilizó el software de diseño asistido por computadora SolidWorks en su versión 2010, siendo este una potente herramienta de diseño utilizado en el mundo. En dicho software se modelaron en 3D (3 Dimensiones) cada una de las piezas con que cuenta el prototipo de máquina para expansionar tubos. Las piezas que conformaron definitivamente el prototipo de máquina para expansionar tubos con fines docentes son las siguientes:

- Chasis.
- Base del pistón.
- Base del agarre.
- Calzo del pistón.
- Guía del pistón.
- Pared de soporte.
- Punzón.
- Pistón.
- Mordaza izquierda.
- Mordaza derecha.
- Agarre del tubo.
- Pernos (12).
- Tuercas (12).
- Tornillos (4).
- Pasadores (3).
- Palanca del agarre del tubo.
- Gancho del agarre del tubo.
- Patas (4)

2.4- Ensamble del modelo de máquina para expansionar tubos.

Para el ensamble de cada uno de los modelos de piezas que conforman la máquina para expansionar tubos se utilizó el módulo de ensamble del software SolidWorks 2010 aplicando relaciones de posición estándares y avanzadas entre cada una de las superficies que tienen relación entre sí.

2.5- Asignación de los materiales y sus propiedades mecánicas a los modelos de piezas.

Para la realización de los estudios estáticos se le asignaron los materiales con sus propiedades mecánicas a cada una de las piezas que conforman el ensamble después de un estudio previo de cada material (ver Tabla 2.1).

Tabla 2.1- Materiales asignados las piezas modeladas.

Materiales	Piezas
Acero aleado fundido	Agarre del tubo, guía del pistón, mordazas izquierda y derecha.
AISI 1023 (chapa de acero al carbono SS)	Base del pistón, base del agarre, pared de soporte, palanca del agarre del tubo.
C355.0-T61 (Aleación de aluminio de moldeo permanente)	Calzo del pistón.
AISI 1020 (Laminado en frío)	Chasis, patas.
AISI 1015 (Estirado en frío SS)	Gancho del agarre del tubo.
AISI 1010 (Barra de acero laminada en caliente)	Pasadores.
AISI 1035 (Acero SS)	Pernos, tuercas, tornillos.
Acero inoxidable al cromo	Pistón, punzón.
AISI 316 (Chapa de acero inoxidable SS)	Tubo.

Estos materiales seccionados para la modelación es una propuesta para diseño del prototipo. Todas las designaciones de los aceros al carbono están bajo las condiciones de la norma AISI (*American Iron and Steel Institute*).

2.6- Mallado de los modelos de piezas involucrados en el análisis.

En este paso se realiza una de las operaciones de mayor importancia en un análisis por elementos finitos y de mucho cuidado, de ella dependen mucho los resultados finales de la simulación y su posterior interpretación. Para el diseño del prototipo de máquina para la expansión de tubos se determinó realizar dos estudios, uno a un modelo de tubo con las dimensiones normalizadas para calcular su expansión en el área de conexión la cual tiene que ser igual al espesor del tubo para que acople el tubo consiguiente. El segundo estudio se le realizó al subensamble del pistón con su guía y punzón para determinar la fuerza su comportamiento estructural al aplicarle la fuerza hidráulica para deformar el tubo. Para el mallado de ambos estudios se tiene en cuenta el tamaño del elemento y la tolerancia entre elementos En ambos estudios se realizó un mallado sólido tetraédrico.

2.6.1- Estudio del modelo del prototipo de máquina para la expansión de tubos por el Método de los Elementos Finitos (MEF).

Una vez modelado el prototipo de máquina para la expansión de tubos se procedió a realizar dos estudios estructurales de los modelos por el método de elementos finitos, siendo este uno de los métodos numéricos de mayor utilización en la actualidad con fines ingenieriles teniendo su implementación en ordenadores mediante softwares especializados. Para esta investigación se utilizó el módulo de cálculo por elementos finitos con que consta el SolidWorks en su versión 2010, que tiene por nombre *Simulation*, una potente herramienta de cálculo utilizada en los momentos actuales de la ingeniería. Para el análisis se realizaron dos estudios estáticos desde el punto de vista estructural para determinar tensiones, desplazamientos y factores de seguridad de las piezas más importantes. En el primer estudio realizado al tubo para calcular su deformación hasta alcanzar el desplazamiento necesario para que acople el tubo consiguiente

se le aplicó una presión en la parte interior de uno de los extremos del tubo tal y como se comporta el expansionador para garantizar la deformación por expansión. Para ello el tubo se comporta como un recipiente a presión. En el segundo estudio se analizó la fuerza aplicada por el accionamiento hidráulico. En ambos estudios los materiales asignados resisten las cargas aplicadas. Con estos dos estudios se simplifica el modelo siendo esto uno de los principios fundamentales a la hora de realizar un cálculo por elementos finitos.

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

Después de un estudio en máquinas similares y el comportamiento del mecanismo para ejecutar la acción de expansión se determinó que el tubo se comporta como un recipiente a presión para deformarse. La deformación necesaria debe ser igual al espesor del tubo para que este acople en el tubo consiguiente. Se modeló un tubo con las dimensiones normalizadas para este tipo de destino de servicio, según [REMS 2012] el tubo se modeló con las propiedades mecánicas de un tubo de acero inoxidable blando en un rango de $\varnothing 8 - 19,05$ mm de diámetro y $S \leq 1$ mm de espesor, para la simulación se tomaron las mayores dimensiones en un tubo de un 3 m de largo. Para determinar la presión necesaria para que el tubo se deformará se tuvo en cuenta la 4ta Teoría de resistencia de los materiales según [Pisarenko, Yákovlev et al. 1979] para recipientes a presión de espesores constantes (ver ecuación 2.1).

$$\Theta_r = (P \cdot r_1^2 / (r_2^2 - r_1^2)) \cdot (1 - (r_2^2 / r^2)) \leq [\Theta] \quad (2.1)$$

Donde:

Θ_r : Tensión radial equivalente.

P: Presión en el tubo.

r_1 : Radio interior del tubo.

r_2 : Radio exterior del tubo.

r: Radio del punto donde se aplica la presión.

[Θ]: Resistencia a la tracción del material del tubo.

Se toma la resistencia a la tracción del material del tubo ya que la superficie a expandir se comporta a tracción.

De ahí se despeja la presión necesaria para que el tubo se deforme P_{nec} .

$$P_{nec} \geq ([\Theta] * (r_2^2 - r_1^2)) / (1 - (r_2^2/r_1^2)) * r_1^2 \quad (2.2)$$

Una vez calculada esta presión necesaria se incrementa en el estudio hasta alcanzar que el extremo del tubo se expanda 1 mm. Las restricciones se aplicaron en la superficie que se fija el tubo mediante el agarre para que este no se desplace.

En el estudio realizado al pistón se modelaron las cargas como una fuerza aplicada en la dirección de desplazamiento del mismo para que este ejerza la presión al expansionador y este a su vez expanda el tubo. Para calcular la fuerza necesaria para aplicarle al tubo se dividió la presión que garantiza que el tubo se expanda 1mm entre el área de la sección transversal del pistón (ver ecuación 2.3).

$$F_{nec} = P_{cal} / A_{pistón} \quad (2.3)$$

Donde:

F_{nec} : Fuerza necesaria para seleccionar el accionamiento hidráulico.

P_{cal} : Presión calculada en la que el tubo se expande 1 mm.

$A_{pistón}$: Área de la sección transversal del pistón.

Una vez calculada la fuerza necesaria se incrementó esta para el estudio hasta un valor acorde al de un equipo de accionamiento hidráulico, aportando así una seguridad en el diseño. Las restricciones se simularon en la base de la guía del pistón.

2.7- Informe de los resultados obtenidos.








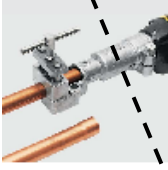

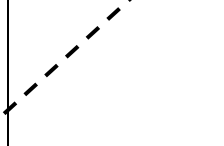

En este paso después de asignarle todas las variables necesarias a los estudios el Solver realiza los cálculos proporcionando un informe de los resultados calculados, el cual consiste en valores a escala isocromáticas de parámetros de resistencia mecánica como son: las tensiones de Von Mises, tensiones normales, desplazamientos resultante y en los diferentes ejes de coordenadas así como el factores de seguridad para las diferentes piezas que conforman el modelo siendo recomendable para diseños de este tipo alrededor de 2 según [Moot 2006]. Teniendo estos resultados se hace un análisis a partir de la interpretación de los mismos desde el punto de vista ingenieril.

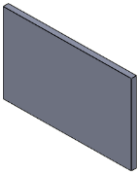
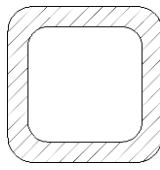
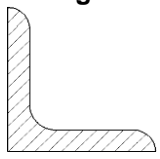


CAPÍTULO III: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.

3.1- Concepción de un principio de solución.

La investigación de los principios de solución para lograr un prototipo de máquina para la expansión de tubos se realizó a través de la matriz morfológica (Tabla 3.1) la cual permite la obtención de la solución por la combinación sistemática de un conjunto de conceptos posibles.

Tabla 3.1- Matriz morfológica para el principio de solución de la máquina para la expansión de tubos.

Denominación	Soluciones			
	1	2	3	4
Tamaño Máquina	Pequeña 	Mediana 	Grande 	
Tamaño tubos	Espesor y diámetros pequeños 	Espesor medio y diámetros pequeños 	Grandes espesores y diámetros pequeños 	
Forma de expandir	Abocardado 	Expansor 		
Mecanismo de accionar	Hidráulico 	Mecánico 	Automático 	

Estructura metálica	Chapa metálica 	Tubos de perfil cuadrado 	Perfil angular de alas iguales 	
Sistema de suministro de energía	Corriente eléctrica 			
Combinaciones de los principios de solución 				

Para el tamaño de la máquina se tuvieron en cuenta tres principios solución, máquinas pequeñas, medianas y grandes. Para el tamaño de los tubos a expandir se analizaron tres variables tubos de espesor y diámetros pequeños, tubos de espesor medio y diámetros pequeños y por último grandes espesores y diámetros pequeños. En el caso de la forma de expandir se tuvieron en cuenta dos posibles soluciones abocardado y expansionador además de los mecanismos de accionar que fueron hidráulico, mecánico y automático. Y en su estructura metálica intervinieron los siguientes tipos chapa metálica, tubos de perfil cuadrado y perfil angular de alas iguales. Mientras que el suministro de energía fue la corriente eléctrica. Quedando lo anteriormente explicado, en la tabla 3.1.

Una vez establecidos los diferentes principios de solución para desarrollar el prototipo de máquina para la expansión de tubos, se calculó el número total de combinaciones posibles de conceptos, a partir de la ecuación (3.1)

$$TCS = \prod_{p=1}^{p_{MAX}} NúnSol \quad (3.1)$$

$$TCS = 3 \times 3 \times 2 \times 3 \times 3 \times 1$$

$$TCS = 162$$

TCS = 162 posibles conceptos

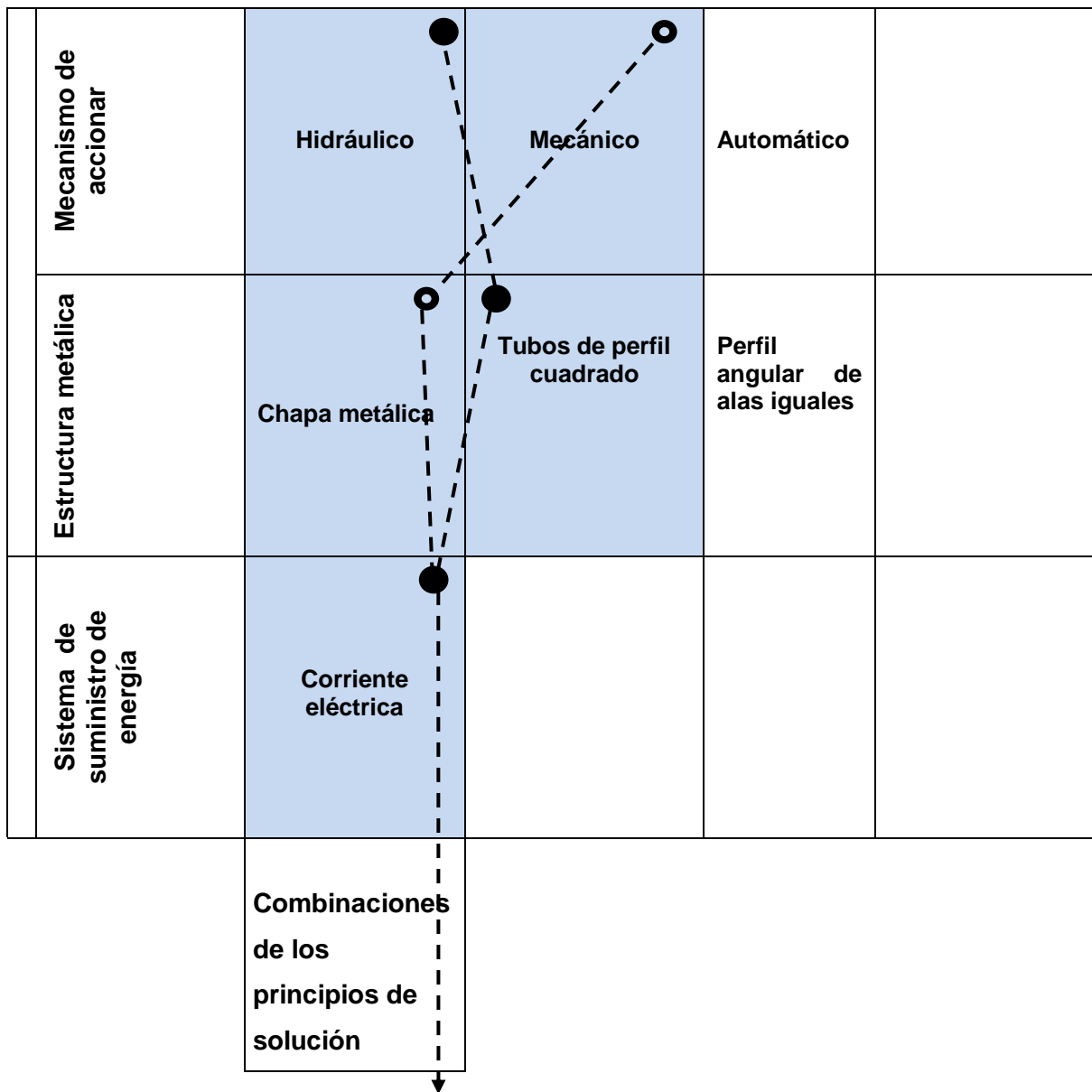
Se obtienen 162 posibles conceptos, como soluciones teóricas para el caso que se analiza del prototipo de máquina para la expansión de tubos.

3.2. Evaluación de la factibilidad del principio de solución.

En la Tabla 3.2 se muestran los conceptos factibles para realizar el diseño básico y de detalle del prototipo de máquina para la expansión de tubos.

Tabla 3.2- Soluciones factibles del prototipo de máquina de expandir.

	Soluciones			
	1	2	3	4
Tamaño Máquina	Pequeña	Mediana	Grande	
Tamaño tubos	Espesor y diámetros pequeños	Espesor medio y diámetros pequeños	Grandes espesores y diámetros pequeños	
Forma de expandir	Abocardador	Expansor		



Leyenda: ○ Variantes de solución.

● Variante de solución adoptada para la construcción.

Para demostrar las posibles variantes a desarrollar en la investigación, se mostrarán dos conceptos, de los 162 posibles conceptos.

Variante de Concepto 1 = Tamaño Pequeña + Tubos de espesor y diámetros pequeños + Forma expansionador + Mecanismo de accionar hidráulico + estructura tubos de perfil cuadrado + Corriente eléctrica.

Variante de Concepto 2 = Tamaño mediana + Tubos de espesor medio y diámetros pequeños + Forma abocardador + Mecanismo de accionar mecánico + estructura chapa metálica +Corriente eléctrica.

De esta forma se pudo disponer de variantes de elementos para el diseño de una máquina para la expansión de tubos, como referencia para someter a la evaluación conceptual de soluciones y determinar cuál de ellas cumple con los requerimientos funcionales que satisfacen las necesidades de los tubos a expandir. Desarrollando como prototipo para esta investigación el diseño de la variante de concepto 1.

3.3- Modelos de las piezas que conforman del diseño del prototipo de máquina para expandir tubos.

Las piezas pertenecientes al prototipo de máquina para la expansión de tubos se modelaron en software de diseño SolidWorks 2010. La cual cuenta con un modelo de pieza que representa el chasis de la máquina (ver figura 3.1).

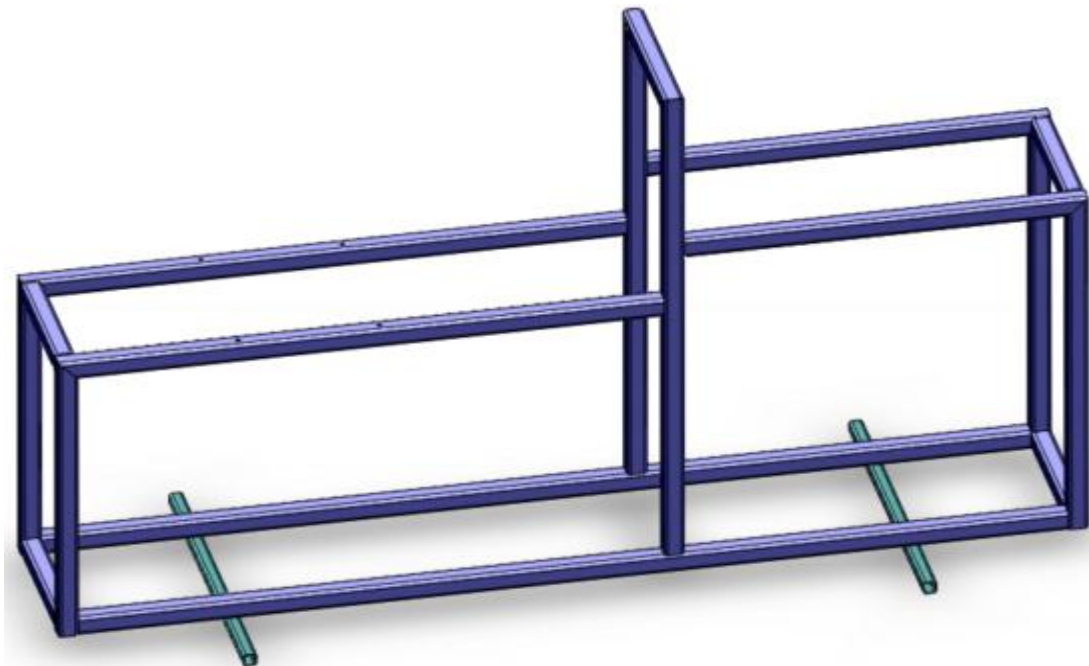


Fig. 3.1- Modelo en 3D del chasis del prototipo de la máquina para expandir.

La estructura de esta pieza está compuesta por tubos de acero de perfil cuadrado de 30 mm de ancho por 30 mm de alto con 2,6 mm de espesor (30x30x2,6) según la norma ISO. Con todas sus uniones garantizadas por soldadura con un

espesor del cordón de soldadura de 2 mm. Este modelo de chasis tiene un largo de 1530 mm con un ancho de 280 mm y un largo de los portapatas de 500 mm garantizando un mejor centro de gravedad para su trabajo.

La pieza que representa la guía del pistón se modeló con 250 mm de largo y 150 mm de ancho con dos guías para el pistón, garantizando la concentricidad del mismo con un diámetro interior de $\varnothing 30$ mm y cuatro agujeros para los tornillos que garanticen la sujeción en el calzo con un diámetro M6 (ver figura 3.2). El material propuesto para esta pieza es acero aleado fundido.

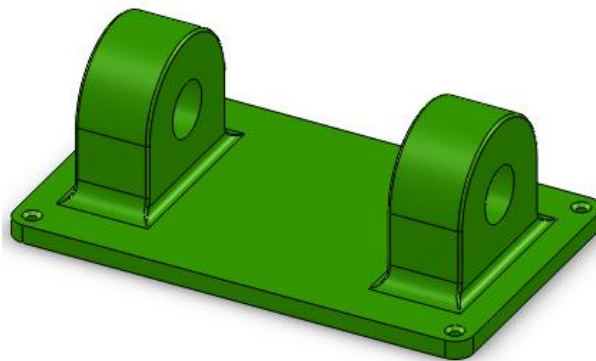


Fig. 3.2- Modelo en 3D de la guía del pistón.

La base del pistón tiene 270 mm de ancho por 650 mm de largo con un espesor de la plancha de 8 mm. Además tiene dos correderas que sirven como guía para el calzo del pistón las cuales tienen 407 mm de longitud cada una y un diámetro de $\varnothing 7$ mm separadas a una distancia de 154 mm. También posee cuatro agujeros para pernos que garantizan la fijación de esta pieza con el chasis con un diámetro de M6 cada uno. El material propuesto para esta pieza es AISI 1023 en chapa (ver figura 3.3).

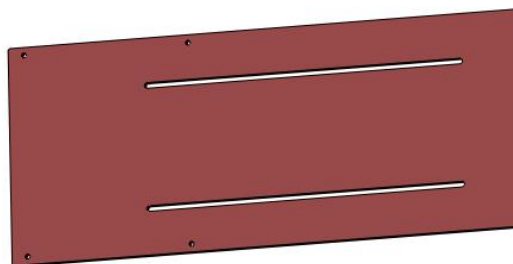


Fig. 3.3- Modelo en 3D de la base del pistón.

La base del agarre es una pieza muy parecida a la base del pistón pero con dimensiones diferentes. El ancho de esta pieza es de 270 mm al igual que la anterior con un largo de 595 mm con un espesor de la chapa de 8mm. Esta pieza

también tiene dos correderas para el desplazamiento del agarre del tubo con las mismas dimensiones que las de la base del pistón separadas a una distancia de 64 mm y se fijará por soldadura al chasis de la máquina (ver figura 3.4).

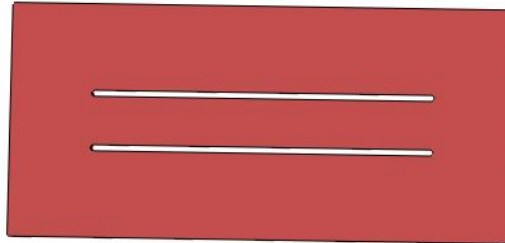


Fig. 3.4- Modelo en 3D de la base del agarre.

El calzo del pistón es una pieza maciza que tiene como destino de servicio servir de soporte a la guía del pistón, garantizar la concentricidad del pistón con el expansionador y permitir el desplazamiento del conjunto pistón-guía por las correderas de la base del pistón. Esta pieza tiene 300 mm de largo por 200 mm de ancho con una altura de 120 mm. Además tiene cuatro agujeros para tornillos para fijar la guía del pistón. El material propuesto para esta pieza es una aleación de aluminio de moldeo permanente.

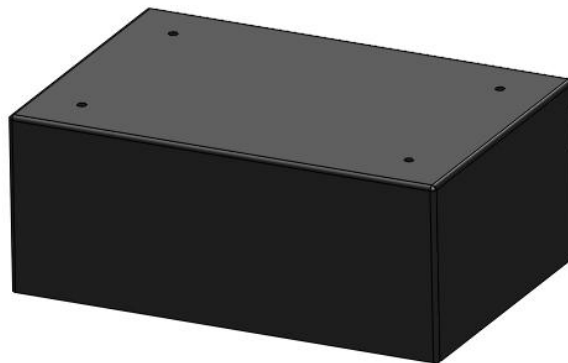


Fig. 3.5- Modelo en 3D del calzo del pistón.

La pared del soporte se modeló con la operación de chapa metálica (ver figura 3.6). La cual se le asignó el material AISI 1023 (chapa de acero al carbono SS). La pared tiene una altura de 343 mm y 270 mm de ancho con un cartabón por los costados de 375 mm. El destino de servicio de esta pieza es montar concéntricamente con el punzón las mordazas izquierda y derecha para los expansionadores.

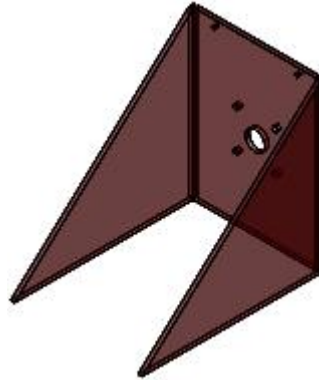


Fig. 3.6- Modelo en 3D de la pared del soporte.

El punzón tiene como objetivo penetrar en el expansionador para que este a su vez expanda el tubo. Este dispositivo tiene una punta cónica para garantizar una menor fricción y una expansión lo más concéntrica posible, acción que puede ser mejorada con la presencia de un lubricante. Esta pieza se simuló de acero inoxidable al cromo, teniendo un diámetro interior que acopla con el pistón de 30 mm con un espesor de 4 mm, un largo de 105 mm y un ángulo de conicidad de 15° (ver figura 3.7).

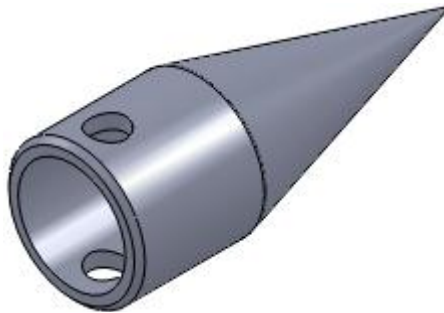


Fig. 3.7- Modelo en 3D del punzón.

Al pistón se le propuso el mismo material que al punzón, esta pieza acopla con el punzón en la parte delantera y por la posterior el dispositivo de accionamiento hidráulico que moverá la máquina (ver figura 3.8).

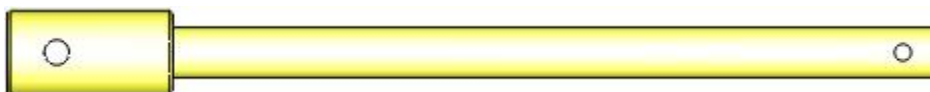


Fig. 3.8- Modelo en 3D del pistón.

Esta pieza es maciza con un diámetro de 30 mm y un largo de 560 mm, además posee dos agujeros pasantes para pasadores. El diámetro interior de la parte posterior es de 35 mm con un espesor de 7,5 mm.

La pieza que sujeta los expansionadores en la máquina se denomina mordaza, en este prototipo se modeló una mordaza partida (es decir una mordaza izquierda y

una derecha (ver figura 3.9 a) y b)) que permita en ensamble con el expansionador, dispositivo normalizado.

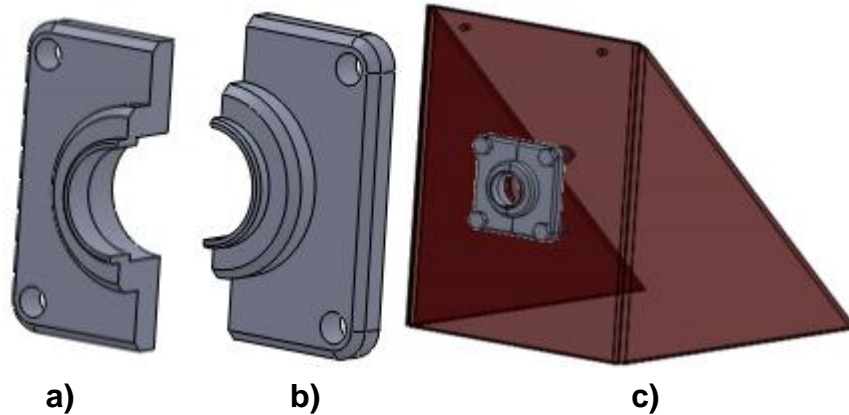


Fig. 3.9- Modelo en 3D de las mordazas. a) Mordaza izquierda. b) Mordaza derecha. c) Conjunto de mordaza ensamblado.

Estas piezas se sujetan mediante pernos a la pared del soporte (ver figura 3.9 c)). El material con que se simularon fue el acero aleado fundido. Estas mordazas tienen 100 mm de ancho por 100 mm de largo con un espesor de 10 mm, el diámetro de la caja donde va acoplado el expansionador que es de 40 mm. El agarre que garantiza la fijación del tubo está compuesto por el agarre superior e inferior, la palanca, el gancho y dos pasadores (ver figura 3.10).

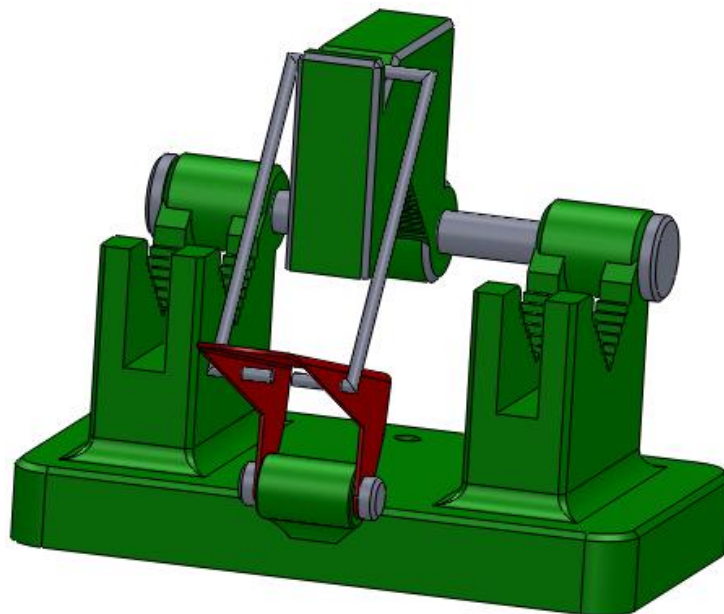


Fig. 3.10- Modelo en 3D del agarre del tubo.

Al agarre superior e inferior se le propuso el material acero aleado fundido mientras que a la palanca el acero AISI 1023 y al gancho el acero AISI 1015

estirado en frío. Todos los pasadores presentes en el prototipo de máquina se propusieron que se fabricarán del material acero AISI 1010. El agarre inferior tiene una base de 150x90 mm con dos agujeros para fijarlo mediante pernos a la base del agarre. Las superficies que garantizan la fijación del tubo se modelaron dentadas.

El prototipo de máquina tiene 4 patas que garantizan la estabilidad de superposición del sistema en el piso, las cuales van acopladas mediante un rosca que garantice la estabilidad de la máquina. El material con que se simuló esta pieza es acero AISI 1020 (Laminado en frío). Esta pieza tiene un diámetro de 122 mm con un espesor de 10 mm. En la superficie roscada que acopla con el chasis el diámetro es de M8 con rosca métrica (ver figura 3.11).



Fig. 3.11- Modelo en 3D de las patas.

La máquina tiene un total de 12 pernos y tuercas con tres pasadores. Los tornillos y pernos fueron tomados del Toolbox del SolidWorks 2010 simulados con el material AISI 1035 (Acero SS) (ver figura 3.12).

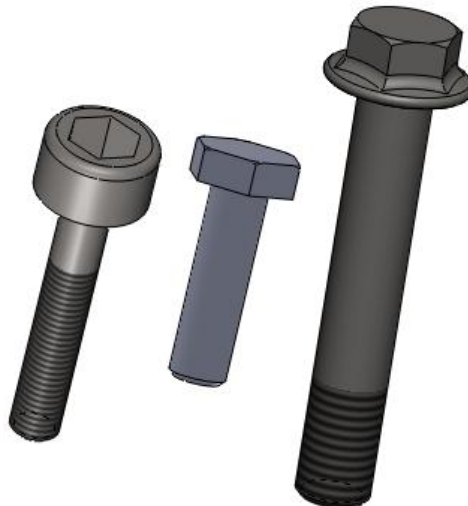


Fig. 3.12- Modelo en 3D de los tornillos utilizados en el prototipo de máquina.

Los pasadores utilizados en el ensamble del prototipo de máquina pueden ser apreciados en la figura 3.13. Utilizando dos de ellos en el agarre del tubo y el tercero en la unión del punzón con el pistón.

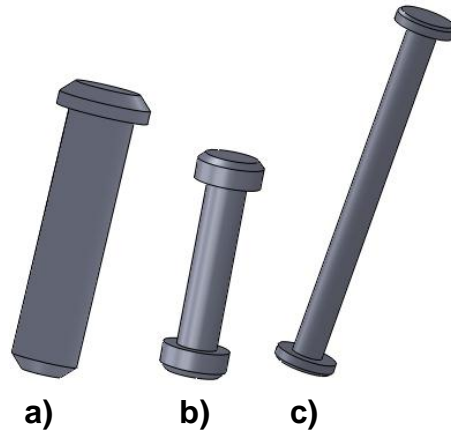


Fig. 3.13- Modelo en 3D de los pasadores utilizados en el prototipo de máquina. a) Pasador del punzón. b) Pasador de la palanca. c) Pasador del agarre.

Aunque el tubo utilizado en uno de los estudios para simular la expansión del mismo no forma parte del ensamble del prototipo de máquina las dimensiones son las siguientes. $\frac{3}{4}$ de pulg igual a 19,05 mm con un espesor de 1mm con 3 m de largo según normas. El material propuesto para el análisis es AISI 316 (chapa de acero inoxidable SS) (ver figura 3.14).



Fig. 3.14- Modelo en 3D del tubo para expandir.

3.4- Modelo de ensamble del prototipo de máquina para expandir tubos.

Para el ensamble del prototipo de máquina para expandir tubos 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, ángulo entre otras avanzadas, vea el modelo en 3D del prototipo de máquina para expandir tubos en la figura 3.15.

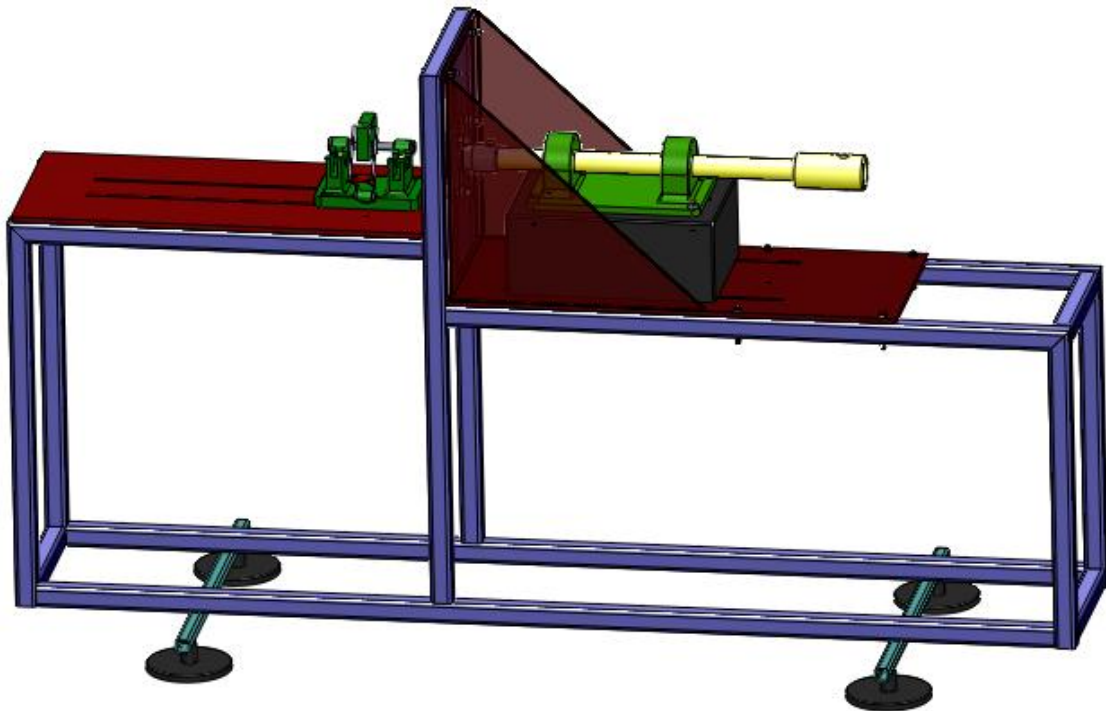


Fig. 3.15- Modelo en 3D del prototipo de máquina para expandir tubos.

3.5 - Asignación de los materiales y sus propiedades mecánicas a los modelos de piezas que conforman el prototipo de máquina para expandir tubos.

Para las propuestas de materiales utilizados en el prototipo de máquina para expandir se tuvieron en cuenta sus propiedades mecánicas teniendo en cuenta 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. Las propiedades mecánicas del acero aleado fundido se pueden observar en la Tabla 3.3.

Tabla 3.3- Propiedades mecánicas del acero aleado fundido [Design System 2010].

Propiedad	Valor	Unidades
Módulo elástico	190000	MPa
Coeficiente de Poisson	0,26	
Módulo cortante	78000	MPa
Densidad de masa	7300	kg/m ³
Límite de tracción	448,08	MPa
Límite de compresión	-	MPa
Límite elástico	241,28	MPa

En la tabla 3.4 se puede apreciar las propiedades mecánicas del acero AISI 1023 en chapas de acero SS.

Tabla 3.4- Propiedades mecánicas del acero AISI 1023 (chapa de acero SS) [Design System 2010].

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	425	MPa
Límite de compresión	-	MPa
Límite elástico	282,69	MPa

En la tabla 3.5 pueden ser apreciadas las propiedades mecánicas de la aleación de aluminio de moldeo permanente C355.0-T61, material asignado en este prototipo de máquina a la pieza calzo del pistón según lo expresado en la tabla 2.1.

Tabla 3.5- Propiedades mecánicas de la aleación de moldeo permanente C355.0-T61 [Design System 2010].

Propiedad	Valor	Unidades
Módulo elástico	69600	MPa
Coeficiente de Poisson	0,33	
Módulo cortante	26500	MPa
Densidad de masa	276	kg/m ³
Límite de tracción	425	MPa
Límite de compresión	-	MPa
Límite elástico	207	MPa

Las propiedades mecánicas del acero AISI 1020 (Laminado en frío) pueden ser apreciadas en la tabla 3.6

Tabla 3.6- Propiedades mecánicas del acero laminado en frío AISI 1020 [Design System 2010].

Propiedad	Valor	Unidades
Módulo elástico	205000	MPa
Coeficiente de Poisson	0,29	
Módulo cortante	80000	MPa
Densidad de masa	7870	kg/m ³
Límite de tracción	420	MPa
Límite de compresión	-	MPa
Límite elástico	350	MPa

El material AISI 1015 de bajo porcentaje de carbono estirado en frío SS asignado a la pieza gancho del agarre del tubo, pueden ser apreciadas sus propiedades mecánicas en la tabla 3.7.

Tabla 3.7- Propiedades mecánicas del acero AISI 1015 (Estirado en frío SS) [Design System 2010].

Propiedad	Valor	Unidades
Módulo elástico	205000	MPa
Coeficiente de Poisson	0,29	
Módulo cortante	80000	MPa
Densidad de masa	7870	kg/m ³
Límite de tracción	385	MPa
Límite de compresión	-	MPa
Límite elástico	325	MPa

El acero AISI 1010 en barras de acero laminadas en caliente, el cual fue asignado a los pasadores utilizados en el prototipo de máquina puede ser consultado con sus propiedades mecánicas en la tabla 3.8

Tabla 3.8- Propiedades mecánicas del acero AISI 1010 (barra de acero laminada en caliente) [Design System 2010].

Propiedad	Valor	Unidades
Módulo elástico	200000	MPa
Coeficiente de Poisson	0,29	
Módulo cortante	80000	MPa
Densidad de masa	7870	kg/m ³
Límite de tracción	325	MPa
Límite de compresión	-	MPa
Límite elástico	180	MPa

El acero AISI 1035 SS asignado a las tuercas y tornillos del prototipo presenta sus propiedades mecánicas en la tabla 3.9.

Tabla 3.9- Propiedades mecánicas del acero AISI 1035 (SS) [Design System 2010].

Propiedad	Valor	Unidades
Módulo elástico	205000	MPa
Coeficiente de Poisson	0,29	
Módulo cortante	80000	MPa
Densidad de masa	7850	kg/m ³
Límite de tracción	585	MPa
Límite de compresión	-	MPa
Límite elástico	282,69	MPa

Las propiedades mecánicas del acero inoxidable al cromo, material asignado al pistón y al punzón pueden ser apreciadas en la tabla 3.10.

Tabla 3.10- Propiedades mecánicas del acero inoxidable al cromo [Design System 2010].

Propiedad	Valor	Unidades
Módulo elástico	200000	MPa
Coefficiente de Poisson	0,28	
Módulo cortante	77000	MPa
Densidad de masa	7800	kg/m ³
Límite de tracción	413,61	MPa
Límite de compresión	-	MPa
Límite elástico	172,34	MPa

En la tabla 3.11 pueden ser vistos las propiedades mecánicas de la chapa de acero inoxidable SS AISI 316, material asignado al tubo.

Tabla 3.11- Propiedades mecánicas del acero inoxidable al cromo [Design System 2010].

Propiedad	Valor	Unidades
Módulo elástico	193000	MPa
Coefficiente de Poisson	0,27	
Módulo cortante	-	
Densidad de masa	8000	kg/m ³
Límite de tracción	580	MPa
Límite de compresión	-	MPa
Límite elástico	172,37	MPa

3.6- Mallado de los estudios realizados al prototipo de máquina para expansionar tubos.

La operación de mallado es uno de los pasos más importantes para realizar un análisis por el método de los elementos finitos, de hecho de este paso depende la ejecución del cálculo, ya que si el modelo no se logra mallar satisfactoriamente no es posible realizar el cálculo del modelo a analizar. En este paso es necesario tener conocimientos elementales sobre los parámetros de mallado como el tipo de malla, las piezas a mallar involucradas en el análisis así como la relación de tamaño entre ellas, la tolerancia entre los elementos y el tamaño de estos. Para el

análisis del prototipo de máquina expansionadora se tuvo en cuenta como se expresó en el capítulo 2 dos estudios, uno al modelo del tubo para calcular la fuerza necesaria para que este se expanda 1 mm (su espesor) y el otro al conjunto del pistón para determinar su comportamiento estructural al aplicarle la fuerza de accionamiento hidráulica.

Para el mallado del tubo se realizó un mallado estándar sólido tetraédrico con un tamaño por elemento de 7mm y una tolerancia de 0,2 mm. Los resultados obtenidos con estos parámetros fueron los siguientes:

- Total de elementos: 7 751
- Total de nodos: 15 536



Fig. 3.16- Modelo del tubo en 3D mallado.

En el mallado del conjunto del pistón se realizó también un mallado estándar sólido tetraédrico con un tamaño por elemento de 10 mm y una tolerancia de 0,2 mm para un total de 12 223 elementos y 21 130 nodos (ver figura 3.17).

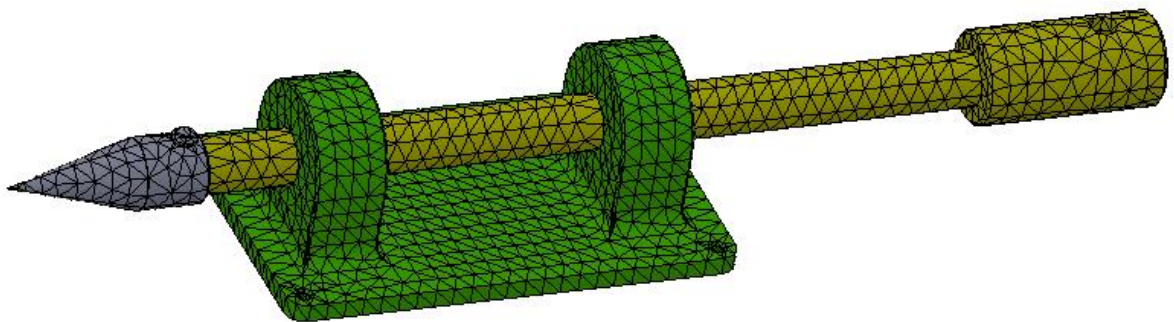


Fig. 3.17- Modelo del conjunto pistón en 3D mallado.

3.7- Análisis de los resultados obtenidos en los estudios por el método de los elementos finitos.

En este paso del procedimiento se define el análisis realizado a los modelos del prototipo de máquina y se puede determinar si esta es funcional estructuralmente

o no, además se muestra la ubicación así como la intensidad de las cargas presentes en el estudio y la ubicación de las restricciones.

3.7.1- Representación de las cargas y restricciones.

En el estudio realizado al tubo se le aplicó una carga a presión desde el interior del mismo por uno de sus extremos como lo muestra la figura 3.18 con las flechas de color rojo. Esta presión ejercida al tubo capaz de deformarlo 1mm tiene una intensidad de 1800 MPa. Las restricciones aplicadas al tubo se ubicaron en la zona externa del tubo donde este es fijado mediante el agarre de la máquina, mostrándose en la figura 3.18 con las flechas verdes, simulándose como una unión fija.

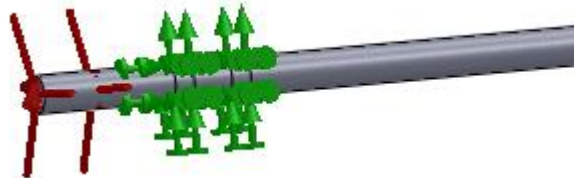


Fig. 3.18- Representación de la carga y las restricciones en el tubo.

En el estudio realizado en el conjunto del pistón se representó la carga en la parte posterior del pistón con una intensidad de 150 N en la dirección de desplazamiento del mismo. Las restricciones se ubicaron en la superficie inferior de la guía del pistón simulándose como un elemento fijo ya que esta pieza se fija mediante pernos a la superficie de la base del pistón (ver figura 3.19).

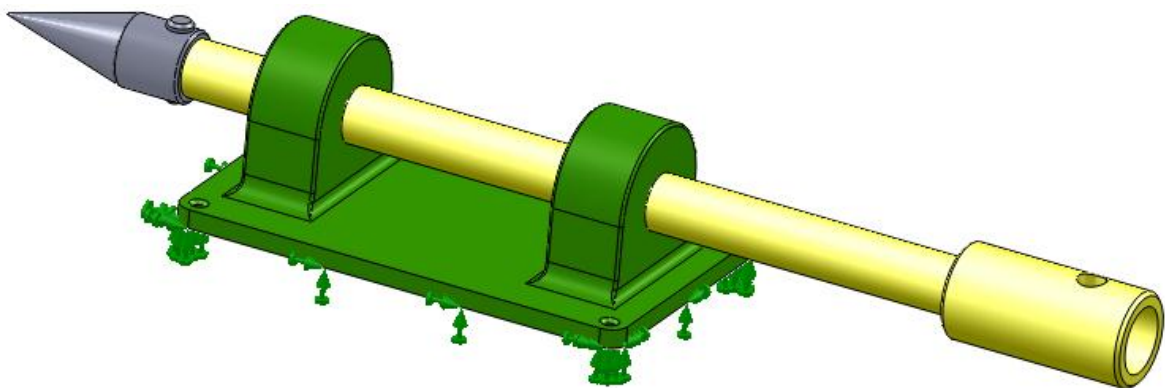


Fig. 3.19- Representación de las cargas y restricciones en el conjunto pistón.

3.7.2- Resultados obtenidos en el estudio por el método de los elementos finitos.

Los desplazamientos resultantes en el tubo para alcanzar que este se expanda 1mm pueden ser apreciados en la figura 3.20 teniendo estos un valor máximo de de 1,086 mm y estando ubicado en el extremo del tubo. En la figura 3.21 se puede apreciar una ampliación del tubo expansionado después de haberle aplicado la presión. Solo se hace referencia a los desplazamientos en este estudio debido a que este resultado es el necesario para conocer la fuerza necesaria para aplicarle al pistón de la máquina y que este a su vez expanda el tubo 1 mm.

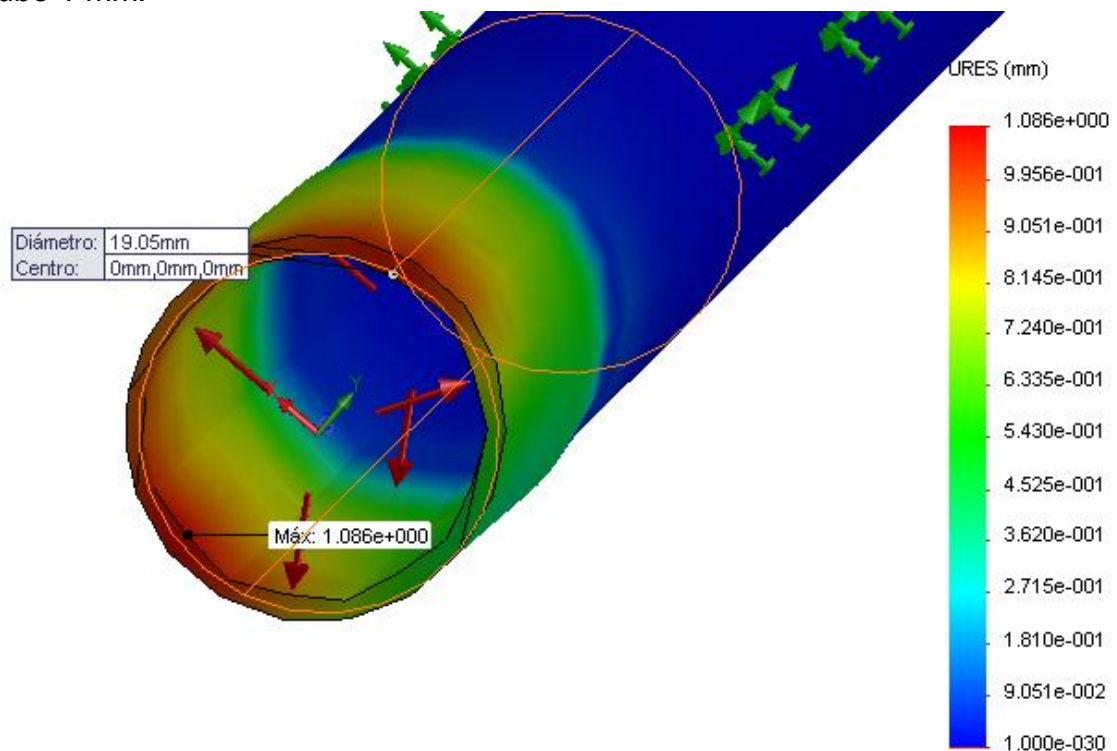


Fig. 3.20- Representación de los desplazamientos en X presentes en el tubo.

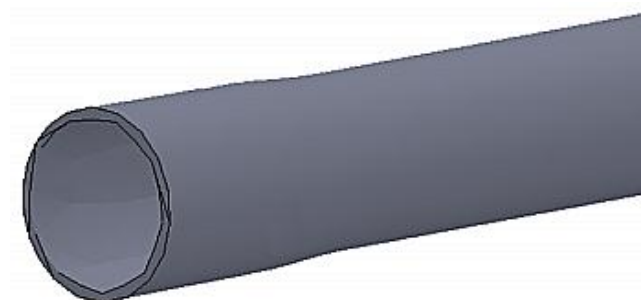


Fig. 3.21- Tubo expansionado.

En el estudio realizado al conjunto del pistón se tuvieron en cuenta para el análisis estructural las tensiones de Von Mises y el factor de seguridad presente en el modelo. Las tensiones se encontraron en un rango de 0 a 0,3 MPa encontrándose el valor máximo en la superficie del pistón que se encuentra en contacto con la primera guía (ver figura 3.22). El factor de seguridad presente en el modelo se encuentra en un rango de 100 a 670 encontrándose el mínimo valor en uno de los agujeros que conectan con los pernos (ver figura 3.23)

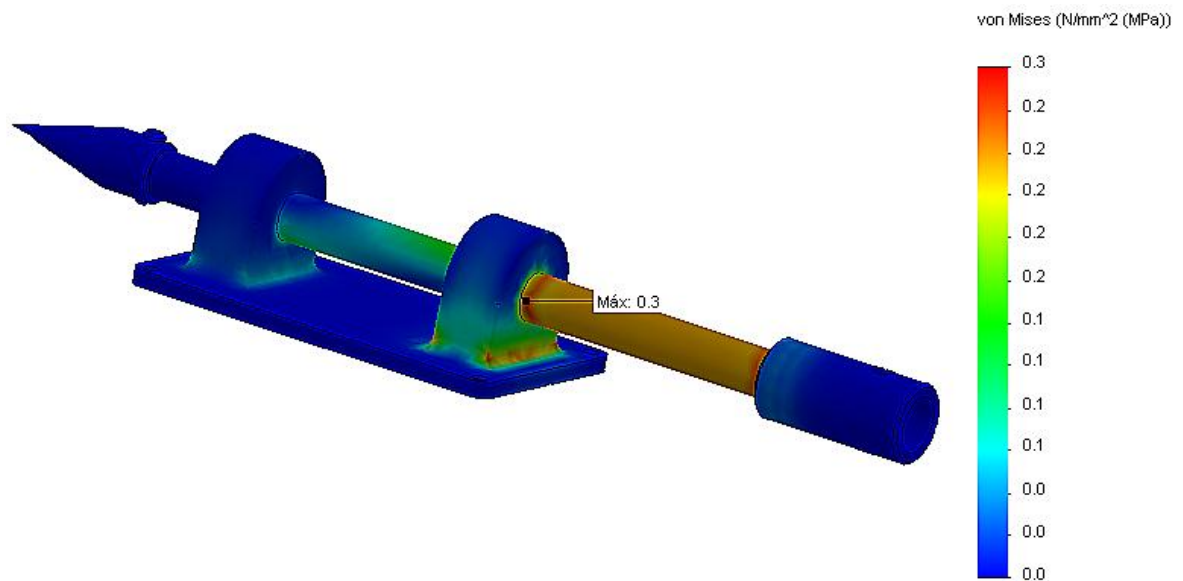


Fig. 3.22- Representación de las tensiones de Von Mises presentes en el conjunto del pistón.

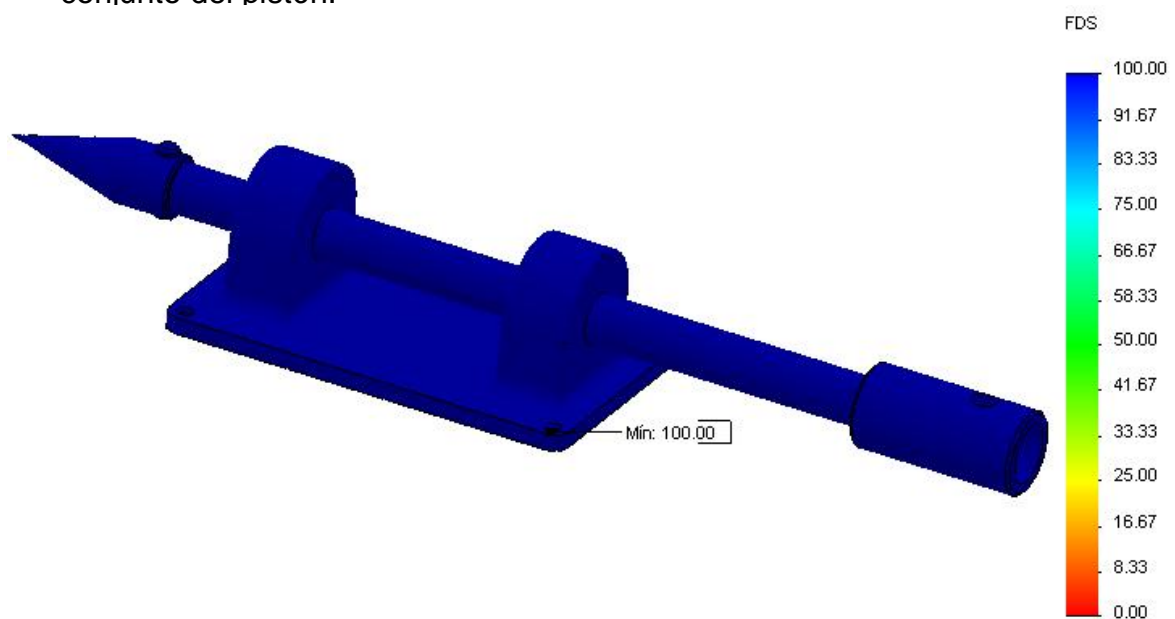


Fig. 3.23- Representación del factor de seguridad presente en el conjunto del pistón.

En el estudio realizado al conjunto pistón las tensiones de Von Mises y el factor de seguridad obtenidos en los resultados se puede apreciar que las tensiones máximas se encuentran muy por debajo de la mínima admisible, lo que se demuestra que el conjunto resiste la fuerza que será ejercida por el accionamiento hidráulico.

CONCLUSIONES

1. Se realizó la concepción del principio de solución a través de la matriz morfológica.
2. Se obtuvieron 162 posibles conceptos de los cuales fueron analizados dos determinando la variante de concepto 1 como la indicada a realizar su diseño.
3. Se modelaron las piezas pertenecientes al prototipo de máquina de expansionar tubos.
4. Se ensambló el modelo de prototipo de máquina de expansión de tubos.
5. Se analizó estructuralmente el modelo del prototipo de máquina de expansionar de tubos con sus cargas correspondientes quedando demostrado que el prototipo podrá resistir las cargas a las que estará sometido durante el cumplimiento de su destino de servicio.

RECOMENDACIONES

- 1- Experimentar en otro prototipo de diseño de máquina que realice las operaciones de abocardar y contraer tubos.
- 2- Realizar el diseño de detalle de cada una de las piezas de la máquina para expansionar como parte de la última fase del proceso de diseño.
- 3- Tener en cuenta la concepción del prototipo para un futuro proceso de fabricación del mismo.
- 4- Implementar el sistema de automatización de la máquina.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Abocardado. (2010). "Abocardado de tubos." consulta 15 febrero 2012, disponible en <http://es.scribd.com/>.
2. ABOQ-80. (2011). "Aboquilladora de tubos DMZ modelo ABOQ-80." disponible en <http://www.youtube.com/watch>.
3. AGME. (2011). "Rápido y eficaz módulo de abocardado de tubos - 5218." consulta 15 febrero 2012, disponible en <http://www.hotfrog.es/>.
4. Aires acondicionados. (2011). "Abocardar tuberías de aire acondicionados, Parte 1." consulta 11 enero 2012, disponible en www.elaireacondicionado.com.
5. AUXITEC (2012). Redes para vehicular el aire comprimido, vacío, gases neutros y aguas industriales. Neumática e hidráulica. **10**: 47.
6. Bosch, Cabrera Jorge (2011). "Análisis numérico de fijadores para la consolidación de diferentes fracturas de cadera". Centro de Estudios CAD/CAM, Universidad de Holguín, Holguín. Tesis en opción al título de master en CAD/CAM, p- 69.
7. Calzadilla, Héctor (2005). "Optimización del bastidor principal de un Alisador agrícola para el cultivo del arroz". Centro de Estudios CAD/CAM, Universidad de Holguín, Holguín. Tesis en opción al título de master en CAD/CAM, p- 70.
8. CAPÍTULO 3. (2011). "Definición de las características del diseño." consulta 11 mayo 2011, disponible en <http://www.espe.edu.ec>.
9. CAPÍTULO 4. (2011). "SolidWorks." consulta 11 mayo 2011, disponible en <http://www.espe.edu.ec>.
10. Cunalata, Licto Carlos Daniel (2011). "Diseño y análisis estructural de un prototipo de compactadora de chatarras de aluminio para el reciclaje". Ciencias Técnicas, Universidad de Granma, Bayamo Trabajo de Diploma en opción del título de Ingeniero Electromecánico.
11. Design System. (2010). "SolidWorks." 2010. Biblioteca de Materiales "SolidWorks materials".

12. Dictionaries, Online language. (2012). "*Diccionario de sinónimos y antónimos*" consulta 30 octubre 2012, disponible en www.wordreference.com.
13. IPM. (2010). "*Acampanado en línea para tubos de PP y PE, e instalaciones automáticas de fabricación.*" consulta enero 2012, disponible en <http://www.rems.de/>.
14. Lastre, A. Michel (2010). "*Proyección de los procesos tecnológicos*". Conferencia Maestría CAD/CAM, Centro de Estudios CAD/CAM, Universidad de Holguín.
15. Moot, Robert L. (2006). "*Diseño de elementos de máquinas*". México, 970-26-0812-0. p- 944.
16. Moro, Vallina Miguel (2002). "*Tecnologías de fabricación*". México.
17. Panasonic España S.A., Service (2001). Climatizadores series 75/95/125. "*Guía de instalación*". España, Todo sobre electrodoméstico, Información para la instalación, disponible en www.eletrdomesticosforum.com: 32.
18. Parker, Hannifin (2011). Máquina de producción eficiente para conexiones O-Lok y Triple O-Lok P. H. Corporation. España, Ingenieering your success. 2: 2.
19. PERCHAS. (2012). "*Perchas para el hogar.*" consulta 30 octubre 2012, disponible en <http://perchas.com>.
20. Perdomo, Arzuaga Yusneydis (2012). "*Propuesta de fabricación del carro portaherramientas del minitorno UDG con fines docentes en la carrera de ingeniería mecánica*". Dpto. Ciencias Técnicas, **Universidad de Granma**, Bayamo. Trabajo de diploma en opción del título de ingeniero mecánico.
21. Pisarenko, G. S., Yákovlev, A. P., et al. (1979). "*Manual de resistencia de materiales*". URSS, Editorial Mir. p- 693.
22. PROPIEDADES. (2011). "*Propiedades de los metales.*" "Propiedades físicas y mecánicas" consulta 7 noviembre 2011, disponible en <http://www.UTP.edu.co/>.
23. REMS (2012). Expandir, abocardar. Alemania: 134.

24. Shigley, Joseph Edward and Mitchell, Larry D. (1985). "*Diseño en ingeniería mecánica*". Michigan, Libros McGRAW-HILL de México S. A., ISBN 968-451-607-X.
25. Simon, Management Group. (2005). "*Encuesta a más de 20 000 usuarios CAD.*" consulta enero 2009, disponible en <http://www.simonmanagement.com>.
26. Sistemas, oleohidráulicos (2012) "*Selección de tuberías flexibles.*" Tuberías
Departamento de Diseño Mecánico