

**Diseño estructural de máquina de ensayos a tensión y su
proceso de producción para validación en proceso de
fabricación de barras corrugadas.**

Investigador principal:

M.Sc. Javier Andrés Urbano Tole

Co-investigador:

Ing. David Leonardo Blanco Estupiñan

Estudiantes de investigación:

Johan David Mejía Pedraza

Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito

Programa de Ingeniería Mecánica

Bogotá D.C., Colombia

2019

**Diseño estructural de máquina de ensayos a tensión y su
proceso de producción para validación en proceso de
fabricación de barras corrugadas.**

Investigador principal:

M.Sc. Javier Andrés Urbano Tole

Co-investigador:

Ing. David Leonardo Blanco Estupiñan

Estudiantes de investigación:

Johan David Mejía Pedraza

Trabajo dirigido

Línea de Investigación:

Materiales y manufactura.

Grupo de Investigación:

Diseño Sostenible en Ingeniería Mecánica (DSIM)

Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito

Programa de Ingeniería Mecánica

Bogotá D.C., Colombia

2019

Resumen

La máquina de ensayos a tensión es una máquina de la cual se puede obtener diferentes propiedades que son de gran importancia en sus respectivas aplicaciones, en el caso de las barras corrugadas son usadas principalmente como refuerzos estructurales de vigas en concreto, aquí se puede analizar la importancia que tienen los procesos de medición de las mismas, cabe resaltar que existen maquinas bastante sofisticadas que cumplen a cabal la demanda. Una empresa dedicada a la producción de barras corrugadas se le hace necesaria la verificación de dichas propiedades de forma rápida, confiable y lo más económica posible.

Palabras clave: Maquina, ensayos, tensión, propiedades, aplicaciones, barras corrugadas,

Contenido

	Pág.
Contenido	VII
Lista de figuras	IX
Lista de tablas	XI
Lista de símbolos y abreviaturas	¡Error! Marcador no definido.
Introducción	1
Capítulo 1. Metodología, diseño estructural	3
1.1. Estado del arte.....	3
1.1.1 Ingeniería inversa.....	3
1.1.2 Equipos existentes.....	4
1.1.3 Metodología de diseño prescriptiva.....	6
1.1.4 Diseño de ingeniería combinado.....	6
1.1.5 Definición del mallado.....	7
1.1.6 Metodología de selección de materiales Ashby.....	8
1.1.7 Metodología selección de procesos de fabricación y relación con el aspecto financiero del proyecto.....	10
1.2. Validación de procesos de fabricación.....	¡Error! Marcador no definido.
1.3. Definición de costos globales.....	¡Error! Marcador no definido.
Capítulo 2. Diseño conceptual	13
2.1. Definición del problema.....	13
2.2. Colección de requerimientos.....	14
2.3. Especificaciones.....	15
2.4. Soluciones.....	17
2.4.1 Estructura.....	17
2.4.2 Determinación de los materiales.....	19
2.4.3 Producción.....	24
2.4.4 Sistema de potencia.....	24
2.4.5 Sistema de control.....	29
2.4.6 Sistema de medición.....	29
2.4.7 Sistema de sujeción.....	30
2.5. Diseño conceptual.....	¡Error! Marcador no definido.
2.6. Especificaciones según norma (NTC2289, ASTM E-8).....	32

VIII Diseño estructural de máquina de ensayos a tensión y su proceso de producción para
validación en proceso de fabricación de barras corrugadas.

Capítulo 3. Diseño detallado	33
3.1. Estructura	34
3.1.1 Validación geométrica	36
3.1.2 Validación Funcional	40
3.1.3 Diseño mecánico detallado	47
3.2. Materiales.....	56
3.3. Producción	59
3.4. Sistema de potencia.....	60
3.5. Selección de los procesos.....	¡Error! Marcador no definido.
Capítulo 4. Validación financiera de costos.....	63
Capítulo 5. Conclusiones	65
Anexo A. Memoria de cálculos.	65
Anexo B. Nombrar el anexo B de acuerdo con su contenido	69
Bibliografía	75

Lista de figuras

Figura 1. Configuración de ingeniería inversa. [11].....	4
Figura 2. (a) Tipo hexagonal, (b) tipo tetraédrica. [9].....	7
Figura 3. Estrategia para la selección de materiales [8].....	9
Figura 4. Dependencia de la selección del proceso.....	10
Figura 5. Clasificación de procesos.....	11
Figura 6. (a) Estructura con cilindro debajo de la base [1],(b) Estructura con el cilindro arriba de la estructura estática.....	17
Figura 7. Selección en términos de módulo de Young y costo por unidad de volumen. [8].....	21
Figura 8. Carta comparativa entre módulo de Young y densidad [8].....	22
Figura 9. Carta de costo /Kg [8].....	23
Figura 10. Matriz de procesos y material. [8].....	26
Figura 11. Matriz de procesos por rango de masa.....	27
Figura 12. Matriz de procesos por espesor.....	27
Figura 13. Matriz de procesos.....	28
Figura 14. Sistema de medición. [13].....	30
Figura 15. a) Mordaza tipo conica con superficie labrada [12], b) Mordaza tipo pinza [13], c) Mordaza de agarre por forma [14] y c) mordaza de agarra por forma variable [15].	31
Figura 16. Tipo de mordaza dispuesta para simulación.....	32
Figura 17. Geometría de la simulación.....	34
Figura 18. Análisis de la deformación critica en la estructura.....	35
Figura 19. Variación del porcentaje de error entre simulaciones con diferente tamaño de mallado.	36
Figura 20. Pre diseño del sistema de sujeción.....	37
Figura 21. Sistema de sujeción pre diseño de agarre de mordazas.....	37
Figura 22. Validación geométrica de la mordaza con varilla de 9 mm.....	38
Figura 23. Validación geométrica de la mordaza con varilla de 3 mm.....	38
Figura 24. Simulación de la deformación en la base.....	42
Figura 25. A) Porta mordaza inferior, b) porta mordaza superior.....	48
Figura 26. Viga superior.....	48
Figura 27. Viga base de sistema de potencia.....	49
Figura 28. Viga porta mordaza superior.....	50
Figura 29. Viga base o porta mordaza inferior.....	50
Figura 30. Barras móviles.....	51
Figura 31. Simulación del valor del esfuerzo presente en las barras móviles para el cálculo de la rosca.....	52

X Diseño estructural de máquina de ensayos a tensión y su proceso de producción para validación en proceso de fabricación de barras corrugadas.

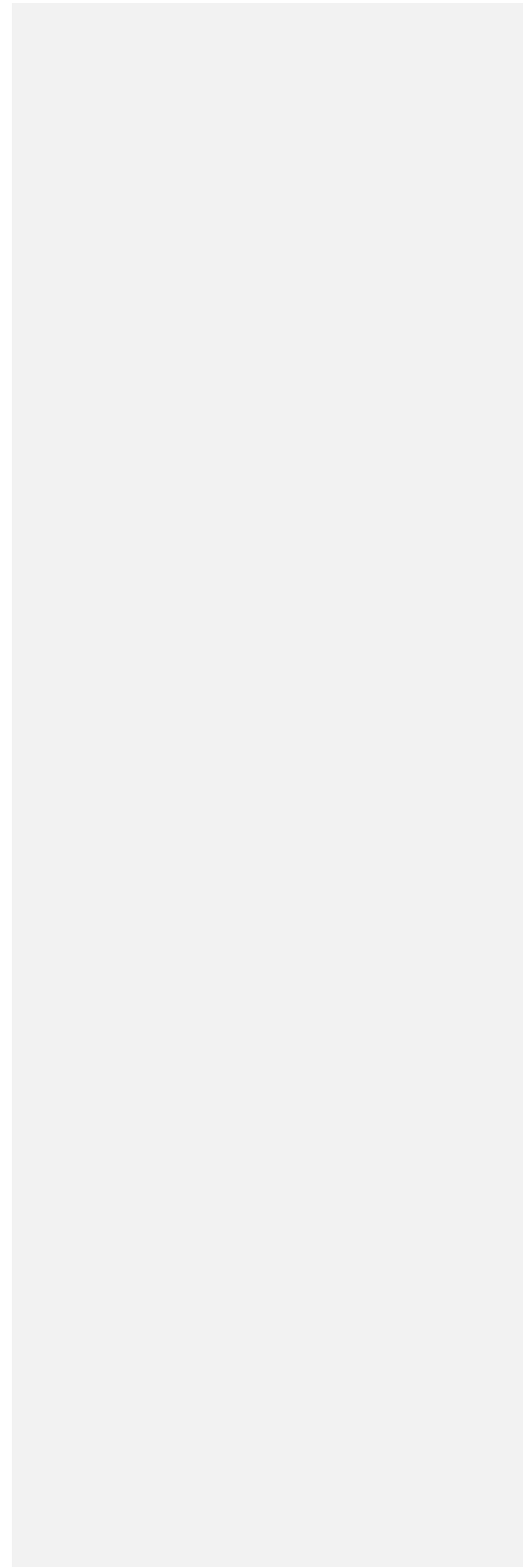
Figura 32. Barras fijas.....53

Figura 33. Simulación de esfuerzos en barras móviles y fijas.....54

Figura 34. a) Ensamblaje con sistemas de sujeción, medición y potencia, b) simulación de la deformación de la estructura.....55

Figura 35. Forma de la viga.....59

Figura 36. Cilindro hidráulico de sistema de potencia.....60



Lista de tablas

Tabla 1. Porcentaje de estiramiento de probetas según su diámetro. [2].....	16
Tabla 2. Definición de requisitos del material.....	19
Tabla 3. Definición de requisitos del proceso.....	25
Tabla 4. Ventajas y desventajas de sistemas de potencia. [5].....	29
Tabla 5. Ventajas y desventajas de sistemas de potencia. [5].....	29
Tabla 6. Composición química de la colada.....	32
Tabla 7. Validación funcional antes, durante, después y sus opciones de solución en función de las diferentes piezas.....	46
Tabla 8. Valor del índice de acuerdo al material.....	56
Tabla 9. Validación financiera de materia prima.....	63
Tabla 9. Validación financiera de mano de obra.....	63

Introducción

La industria de fabricación del Acero presenta una problemática en cuanto a la verificación del tiempo y costo requerido en la producción de varillas corrugadas, el cual se ve acrecentado por el número limitado de máquinas convencionales en planta y el tiempo disponible para la medición del esfuerzo último. Una de las Empresas líderes en fabricación de varillas corrugadas propone que una máquina de ensayos de tensión ajustada específicamente a los procesos que desarrolla esto con el fin de aumentar la confiabilidad en los procesos y disminuir los tiempos ciclo de verificación de producto en proceso, con lo cual sea posible la obtención del límite último del esfuerzo reduciendo al máximo costo, tamaño y velocidad de la prueba.

En el siguiente informe se plantea la problemática para analizar y seleccionar la mejor alternativa desde un punto de vista de optimización en el que se reduzca costo y tiempo, a continuación, se realizara el mismo análisis para un proceso de producción de dicha máquina, asegurando a un futuro inversionista la mejor opción en cuanto a diseño del producto y de proceso.

Capítulo 1. Metodología, diseño estructural.

1.1. Estado del arte.

1.1.1 Ingeniería inversa.

Partiendo del hecho de una definición variable para el término de ingeniería inversa, la mejor definición puede ser: proceso por el cual una parte o componente ya existente es recreada o reproducida sin detalle, esto con el fin de obtener toda la información geométrica conceptual con diferentes usos:

Diseño de nuevos productos: Esta forma de diseño contempla extraer la información necesaria para el diseño a partir de un proceso de ingeniería inversa. Esto conlleva a un diseño que representa un prototipo con un modelo computación CAD, mejoramiento u optimización de un diseño y fabricación con equipo CAM a partir de un modelo CAD

Aquí es posible notar la importancia del proceso en la actualidad debido a que las diferentes empresas utilizan esta herramienta con fines no solo vistos desde la optimización si no la producción de un diseño sencillo para la producción con CAM.

Este ejemplo de desarrollo es posible observarlo en fábricas chinas donde se realiza la réplica de las diferentes geometrías, en este caso es utilizada como réplica exacta pero no deja de ser una práctica de ingeniería inversa.

Otro campo de aplicación con bastante cogida es la modificación de diseños existentes, ya que es un campo más amplio incluso que el diseño es el campo de poder mejorar algo, esto último también está definido como diseño siguiendo determinadas restricciones, consiste en la mejora de determinadas piezas o elemento y su diseñador puede tener ventajas en cuanto al inicio del diseño este ya empezara con algo, la cuestión es hasta donde debe llegar ya que si el diseñador no empieza de cero las expectativas del nuevo diseño están puestas en algo mucho más elaborado y propio.

Otro campo de acción actualmente utilizado es el campo del mantenimiento ya que resulta bastante práctico realizar ingeniería inversa por ejemplo con elementos que no se tenga información acerca de su fabricación, en estos casos las empresas se ven obligadas a realizar el proceso para obtener una producción de determinada pieza que es necesario cambiarla.

Industrialmente también es muy utilizada como herramienta como complemento para producción ya que en el proceso de ingeniería inversa es posible obtener condiciones que pueden favorecer si la parte de producción las conoce, por ejemplo, en la forma de ensamble de determinado objeto, a pesar de que no se tienen las dimensiones del objeto con detalle es posible conocer el proceso de ensamble y exactamente como puede ser mucho más sencillo el mismo. [10]

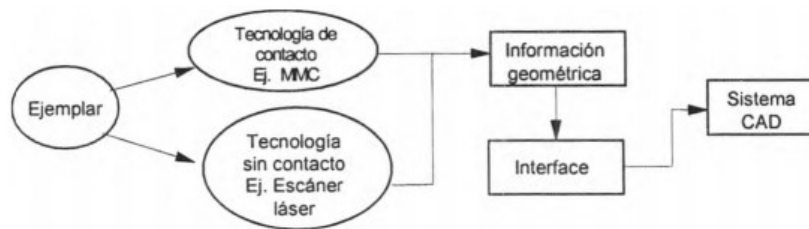


Figura 1. Configuración de ingeniería inversa. [11]

Se pretende analizar una máquina existente la cual se tiene como objetivo su optimización y esto se logra a través de este proceso haciendo que el diseñador de la optimización empiece a analizar las diferentes variables que tuvo en cuenta el primer diseñador pensando en los requerimientos del diseño.

1.1.2 Equipos existentes.

Dentro de las máquinas actuales en el mercado universal se encuentran diferentes aplicaciones y tipos donde se pudo verificar exactamente las diferentes estructuras lo cual será de gran ayuda para darse una idea de que estructura es la más considerada para realizar su respectivo análisis.

A nivel general se encuentra un gran desarrollo en la parte de variedad de ensayos, máquinas universales que realizan ensayos de tensión, compresión y flexión, con un simple cambio de herramientas es posible realizar otro tipo de ensayo.

Una de las máquinas mejor desarrolladas es:

Máquina de prueba universal- tensilon RFT SERIES Marca: AND

Descripción:

La TENSILON RTF es nuestra nueva máquina de ensayo universal que ofrece posibilidades de medición innovadoras, basadas en el nuevo y extenso conocimiento tecnológico de A&D. La serie

RTF es una máquina de prueba de clase mundial 0.5. Después de haber mejorado el diseño y la estructura general de la máquina, logramos una rigidez muy fuerte del bastidor de carga que permite una precisión de medición muy alta. También tuvimos en cuenta las opiniones informadas de los operadores de máquinas para mejorar el rendimiento y las funciones de nuestro modelo. La serie RTF de TENSILON anuncia el comienzo de una nueva era en la medición.

Características

La máquina de prueba de clase mundial 0.5 de A&D

La rigidez del bastidor de carga ha sido mejorada en un 30%

Se garantiza una precisión de salida nominal de hasta 1/500

Muestreo de alta velocidad: 1 mseg

Un máximo de 13 canales de señal de entrada

Panel táctil en color (opcional)

Diversos entornos operativos

MSAT (Pruebas de análisis de señales múltiples)

La serie MSAT está equipada con funciones no sólo para el funcionamiento de la máquina de ensayos, sino también para el análisis de datos, el cálculo y el almacenamiento de datos para cada modo de ensayo. El operador puede seleccionar el modo de prueba estándar (tracción, compresión y flexión), modo de prueba de pelado, modo de prueba de ciclo, modo de prueba de fluencia, modo de prueba de relajación de esfuerzo, etc., dependiendo del propósito de la prueba.

Entorno de funcionamiento del PC OS: Windows XP Professional. Tamaño del programa: 80Mb o menos. Requisito de memoria: 512Mb o más. 3.1.2. Exigencia de autorización: Autoridad del administrador. USB: Un puerto USB. Resolución de pantalla: 800x600 puntos o superior.

Rango de costos de máquinas similares: 2.000-38.000 USD

Se encontraron máquinas más aterrizadas a la solicitud de la empresa sin embargo no se encontró máquinas que midan únicamente el esfuerzo máximo, el precio de las máquinas varía más que todo con respecto a la fuerza (sistema de potencia), hay máquinas con un costo de 300 USD, pero se tiene la limitación de una fuerza de 500 N.

1.1.3 Metodología de diseño prescriptiva.

El modelo lineal es una metodología de diseño prescriptiva la cual es bastante básica, pero tiene la ventaja de permitir identificar las fases del diseño, las cuales son:

- Identificación de la necesidad
Establece las necesidades del cliente y lo que pretende es transformar estos requerimientos en el desarrollo de un planteamiento de ingeniería, dentro de la misma se tiene obligatoriamente que establecer los objetivos del proyecto que desea el cliente estableciéndolos como primarios, estos objetivos se verán reflejados como objetivos de diseño, además de esto de establecen las restricciones y las diferentes funciones.
- Diseño conceptual
El objetivo del diseño conceptual es generar concepto o alternativas de diseño, a partir del planteamiento modificado se establecen especificaciones de diseño y con estas se debe generar las alternativas, en conclusión, alternativas las cuales solucionen los requerimientos de diseño que realmente son requerimientos del cliente, son presentados como bosquejos y una breve descripción que resalte las ventajas o desventajas que tiene determinado método.
- Diseño Preliminar
El diseño preliminar busca evaluar las diferentes alternativas de diseño presentadas, se debe seleccionar uno de los conceptos para desarrollar, se debe determinar los diferentes componentes e interacciones entre los mismos para evaluar objetivamente el concepto seleccionado, en esta etapa se debe tener formas específicas, materiales compuestos, componentes y acoplamientos.
- Diseño detallado
El objetivo de esta fase de diseño es afinar y detallar el diseño final, en este se necesita una refinación y optimización para asegurar que cumple con absolutamente todos los requisitos planteados en fases anteriores y posibles mejoras, no solo se establece características de diseño sino también para realizar su producción.

1.1.4 Diseño de ingeniería combinado

Con objeto de mejoramiento en la etapa del diseño de la maquina se pretende utilizar las metodologías de diseño ingeniería inversa y de diseño prescriptivo, reuniendo así las ventajas que

cada uno conlleva, en la primera fase se realizará un proceso de ingeniería inversa a una máquina de ensayos la cual reúne las características solicitadas, lo cual logrará una aproximación en gran medida al diseño requerido, a continuación se procederá a realizar el diseño prescriptivo teniendo como base los objetivos planteados desde el punto de vista de la ingeniería inversa, en pocas palabras lo que se pretende es analizar las posibles mejoras y plantearlas como objetivos los cuales serán resueltos con ayuda de la metodología de diseño prescriptiva.

1.1.5 Definición del mallado

Para el desarrollo del diseño detallado de la estructura se utiliza la herramienta ANSYS con la que se propone realiza el modelamiento de ingeniería inversa y es posible el análisis y una posible optimización de la estructura, además de consideran diferentes aspectos de alta importancia en el detalle como lo son ensamble, ajuste, condiciones de operación y ergonomía.

Es necesario la selección detallada del mallado debido a que es posible una divergencia de la solución, además de llevarnos a unos posibles errores debido a precisión por lo que se establecen las siguientes condiciones de mallado:

- Modelo de elementos finitos seleccionados

Al realizar la simulación el primer paso después de obtener la geometría será generar el mallado, para lo que se utiliza de tipo creciente a las zonas de interés por lo que se generará un mallado inicial donde se verificará exactamente qué punto tenemos mayores esfuerzos y a continuación se debe realizar una mallado más riguroso en dichas zonas.

Este método decreciente fue seleccionado debido al peso y precisión de la simulación ya que es necesaria la optimización sin tener pérdidas en el cálculo, entonces se logrará reducir la densidad de la simulación en zonas donde realmente no es necesario, pero en las zonas de interés es posible obtener una buena confiabilidad.

- Tipos de elementos finitos seleccionados

Fue seleccionado de tipo hexagonal, debido a la información de apoyo a nivel educativo lo más usado en este mismo tipo de análisis son de tipo hexagonal, esto debido a que los elementos tienen la capacidad de deformarse en todas las direcciones (mayor grado de libertad) sin que el elemento tienda a la divergencia, en el caso de tipo tetraédrico pasara a depender que tan agudo sea su ángulo (relación de aspecto) debido a la poca precisión que puede obtener este mismo en dirección opuesta al centro del tetraedro del nodo puesto en el ángulo más agudo, la ventaja que puede tener el de tipo tetraédrico se ve reflejada en la exactitud de los esfuerzos.

En cuanto a peso el hecho hacer un tipo de malla más organizada logrará un menor número de nodos lo que conlleva una simulación más ligera, por otro lado, en el caso de los tetraedros aumenta el número de nodos si se quiere la misma precisión alcanzada por los hexagonales.

En la siguiente figura se puede observar los elementos finitos propuestos para la simulación.

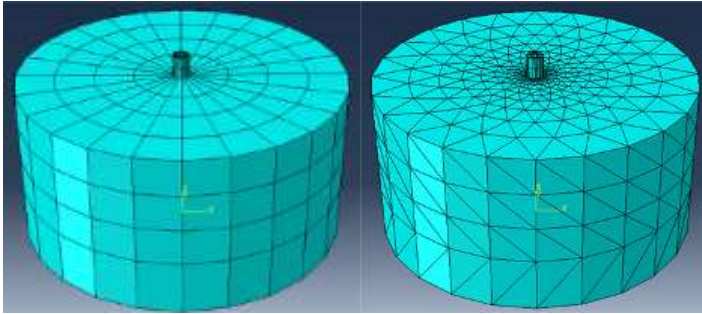


Figura 2. (a) Tipo hexagonal, (b) tipo tetraédrica. [9]

El siguiente parámetro importante será el tamaño de los elementos en general, es decir que tan grandes podemos llegar a realizar un mallado sin que el mismo afecte los resultados, por lo que se establece como en diseño un porcentaje entre los valores de la deformación (parámetro de interés de la simulación) menor al 5% lo cual no genera la suficiente confianza, lo anterior se realiza con la pieza de mayor deformación es decir con la pieza más crítica.

1.1.6 Metodología de selección de materiales Ashby

Para la metodología se utilizará la combinación de varias metodologías las cuáles serán las encargadas de seleccionar el material ideal y se asegura el cumplimiento de todos los requisitos además de ser total mente alcanzable desde un punto de vista de producción local.

La mayoría de las metodologías de diseño parten con una disponibilidad total de los diferentes materiales existentes, a continuación, se procede a realizar la selección o la depuración con ayuda de métodos tradicionales o información que proveen fuentes ya escritas como lo son CES Edupack Granta o MatWeb, este proceso es realizado teniendo en cuenta las propiedades requeridas de cliente y requisitos de diseño evaluado diferentes aspectos como lo son la disponibilidad comercial, vida en servicio, costos, entre otros.

Al seleccionar un material primero se verifican las necesidades en cuanto a sus propiedades mecánicas: resistencia, ductilidad, dureza, fatiga, elasticidad y termo fluencia, a continuación, se evalúan las propiedades físicas: dilatación, calor específico, densidad, conductividad térmica, punto de fusión.

Las propiedades químicas también son un factor importante en ambientes agresivos, también tienen que ser considerados en el diseño de la producción ya que esto de alguna manera puede facilitar algún proceso o también puede afectar de manera negativa.

La metodología de selección de material cumple el siguiente orden que puede ser observado en la siguiente figura:

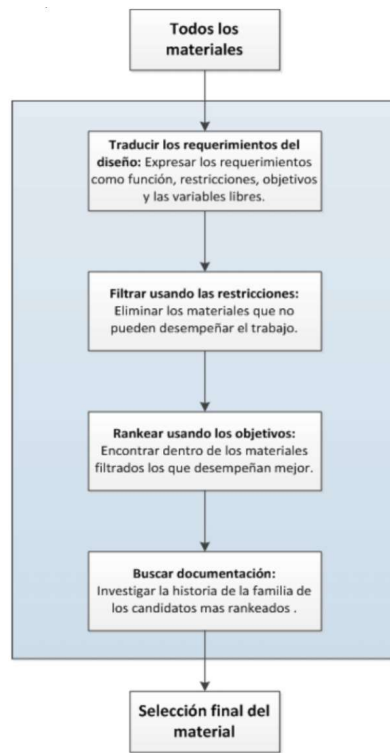


Figura 3 Estrategia para la selección de materiales [8].

- Traducción: Se debe limitar el diseño y establecer sus respectivas restricciones, se deben establecer los componentes que deben cumplir, también se deben establecer objetivos adicionales con las variables que pueden ser libres con el fin de optimizar el diseño. Este proceso se logra realizar contestando las siguientes preguntas:
 - ¿Qué función tiene el componente o parte a diseñar?
 - ¿Qué condiciones no negociables (restricciones del cliente) tiene el diseño?
 - ¿Qué se debe maximizar o minimizar?
 - ¿Qué variables libres pueden ser usadas como variables libres de optimización?

- Filtrado: Teniendo requisitos el siguiente paso será la determinación de los materiales que cumplen los requerimientos establecidos, únicamente en términos de cumplimiento teniendo como respuesta SI/NO.
- Ranqueo: En esta etapa de selección se deben analizar más a fondo los diferentes materiales haciendo uso de índices los cuales pueden comparar varias propiedades del material para al final realizar la selección del material que mejor cumple los requisitos.
- Búsqueda de documentación: En esta fase generalmente si aún no es posible la selección de un material se procede a encontrar los defectos de cada material, teniendo en cuenta los costos, condiciones locales (que tan fácil será su producción).

1.1.7 Metodología selección de procesos de fabricación y relación con el aspecto financiero del proyecto.

Un proceso es un método para dar forma ensamblar y realizar un terminado, existen bastantes tipos de procesos (fundición de cera perdida, fundición con arena, rolado, laminado, forjado, etc.) , lo realmente importante dentro del proceso de selección de un proceso es la reducción de costo o en un caso extremo que no se puede realizar el proceso por alguna falla de diseño. Es por eso que existe una metodología que se enfoca en la producción de determinado producto, se dividen en material, función y forma, esto determinara el proceso y dentro de este sus atributos, material, forma y tamaño, costo, entre otros. En la siguiente figura podemos observar de forma gráfica la metodología planteada anteriormente.

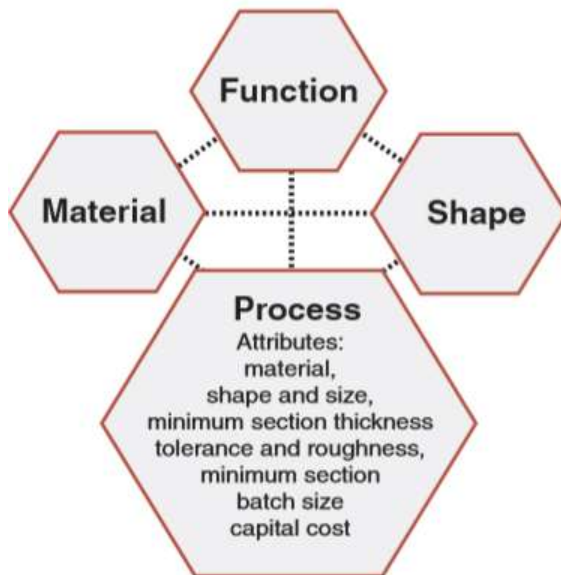


Figura 4. Dependencia de la selección del proceso.

Clasificación de los procesos

Con base en la metodología planteada se empieza a dar un enfoque desde la materia prima hasta el producto terminado lo cual sugiere una clasificación de los procesos, la primera clasificación en la forma, en esta fase pasamos de la materia prima es decir desde los materiales donde es necesario rotarlos y realizar una determinada forma, la siguiente fase es conformada por la unión, esta fase tenemos como elementos de entrada las partes ya con la forma, aquí debemos realizar la unión hecha de forma lógica, la fase final es de terminado, a pesar de que el producto ya está casi listo es aquí donde se realiza su ergonomía y refinamiento de algunos detalles que pudieron quedar de las fases anteriores, además de determinado acabado que pueda llevar el producto el cual debe estar especificado por el ingeniero.

En la siguiente figura podemos observar de forma gráfica la clasificación y su orden con respecto al proceso.

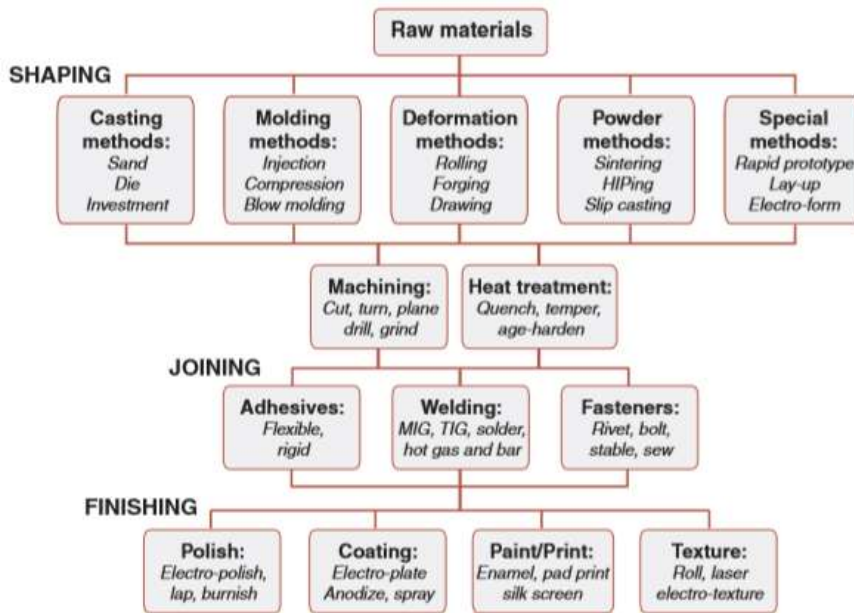


Figura 5. Clasificación de procesos.

1.2. Estrategia de selección de procesos.

La selección de los procesos se realiza de forma muy similar con la selección de los materiales, donde se tienen candidatos hasta que se demuestre lo contrario, este proceso de descarte se realiza con las mismas herramientas que en la selección de materiales.

- Traducción

Los requisitos de diseño se expresan como restricciones sobre el material, la forma, el tamaño, la tolerancia, la rugosidad y otros parámetros relacionados con el proceso, se realiza un cuadro de restricciones donde se deja claro que procesos son incapaces de cumplir, el cuadro debe contener la respuesta a preguntas como: que forma debe tener el producto, que uniones son necesarias, que terminados, que material es necesario, con que dimensiones se debe trabajar y su respectiva precisión, se deben plantear unos objetivos en los que se debe especificar se variables negociables y no negociables se desea maximizar o minimizar, además de establecer las variables libres.

- Cartas de selección

Cada proceso se caracteriza de acuerdo a ciertos atributos que posee cada uno, dicho atributo se reflejan como matrices que proporcionan las herramientas necesarias para la selección, la primera carta de selección muestra como determinado proceso puede dar forma, unir o realizar cierto terminado a determinado material, así como otros no están en la capacidad de hacerlo.

Se tiene una matriz de forma siendo este el atributo más difícil de caracterizar, debido a la diversidad de los procesos en los que se utiliza rotación, translación, uniformidad de sección, etc.

La diversidad se presenta en el caso de tener la necesidad de la unión de varios procesos, es decir si no solo es necesaria la rotación sino también la uniformidad para el caso del trono es necesario combinarlo con un mecanizado.

Otra carta posible para la aplicación es la de masa que funciona con el dimensionamiento de la pieza (tamaño), espesor, tolerancia y rugosidad.

La última carta es por tamaño de lote, si se necesita hacer una operación para un producto la operación más fácil será la más sencilla de realizar pero si se necesita realizar una operación mil veces tal vez sea mejor utilizar algo más novedoso y robusto que facilitara y economizara el tiempo.

- Ranking

Para esta etapa del proceso se debe tener en cuenta mantener el estándar, si alguien ya realiza la pieza sencillamente una persona ya realizó la inversión y un estudio de mercado para el

precio de venta de la misma, por lo que es mejor comprar la pieza ya terminada que realiar el diseño para hacerla.

Mantener las cosas simples, el tiempo es dinero por lo que el hecho de tener que centrar varias veces o reajustar toma tiempo por lo que esto aumentara el tiempo en producción y se verá reflejado en gastos, por lo que la siguiente recomendación es facilitar el montaje de las piezas, igualmente disminuye el tiempo lo que hace directamente disminuir la inversión. Para esto se debe primero minimizar el número de piezas, utilizar métodos de unos lo más rápidos y efectivos como se pueda y por ultimo cierres rápidos y soldaduras por puntos son más rápidos que roscas o adhesivos.

Capítulo 2. Diseño conceptual.

2.1. Definición del problema

Importante empresa de producción de acero colombiana identifica una problemática con respecto a la verificación de sus productos, la empresa está dedicada a la producción de varillas corrugadas utilizadas como refuerzo para vigas en construcción, por tal aplicación para la empresa es indispensable la verificación en cuanto a resistencia de los diferentes calibres, teniendo en cuenta un proceso de producción continuo y lo más eficiente posible, la empresa analiza un gasto de tiempo en cuanto a medición por lo que la empresa propone la construcción de una máquina de ensayos a tensión que logre realizar el análisis de ciertas propiedades específicas, teniendo como resultado una disminución en cuanto al costo y tiempo. Además, el diseño y puesta en operación de la maquina debe estar acogida por la norma correspondiente, con el diseño se debe mejorar la calidad de los ensayos y aumentar el número de pruebas por lote, además de tener un coste de producción mucho menor al encontrado en el mercado actualmente.

Teniendo en cuenta el contexto presentado es de vital importancia tres factores tiempo, costo y precisión, al estar restringidos por la norma es indispensable verificar las restricciones que se imponen.

La empresa solicita una reducción de funciones a netamente el esfuerzo ultimo de tensión soportada por cada varilla, reducción de costos de la maquina además del espacio que esta ocupa ya que el ideal es disponer de varias máquinas a lo largo de la planta y así lograr la reducción de tiempos de desplazamiento de los diferentes operarios para realizar el control por cada lote que llegue.

Se tiene como base los productos de la compañía (varillas corrugadas de 4 – 8 mm), donde además es posible observar dentro del catálogo del cliente la resistencia a la tracción del material y su respectivo porcentaje de elongación, se debe prestar atención a un factor de seguridad ya que generalmente las distintas coladas pueden presentar una variación en cuanto a composición, resistencia y su geometría.

Se deben proponer diferentes alternativas que cumplan las condiciones propuestas por la empresa, en cuanto al proceso de producción de la maquina lo primordial será el número de máquinas a elaborar y su respectiva precisión, para así realizar un análisis económico que será quien en verdad nos dirá el proceso ideal, esto le dará una imagen al productor de cuál es el mejor proyecto en cuanto a inversión y tiempo de producción, con objeto de un mejor trabajo investigativo se debe separar la maquina en diferentes componentes para ser analizados por separado, donde se realizara el respectivo análisis a detalle de la parte de la estructura dejando un breve inicio acerca de las otras partes de la máquina.

Dentro de la maquina tenemos:

- Diseño estructural
- Sistema de potencia
- Sistema de control
- Sistema de medición
- Sistema de sujeción

Se debe por último registrar la mejora del proceso el cual debe ser notable en ámbitos como los son el tiempo y facilidad de los ensayos y en la calidad de la empresa ya que los lotes deben tener un mayor número de ensayos lo que mejorara la estadística de los mismos. [2]

2.2. Colección de requerimientos

Se solicita el diseño de una máquina de ensayos a tensión donde sea posible la obtención del esfuerzo ultimo a tensión de cada varilla, teniendo como objetivo la disminución de requerimientos, la idea es disminuir el tiempo haciendo una evaluación de la tensión lo más fácil, rápida y poco costosa posible, dentro de un espacio no limitado, pero debe ser lo menor posible.

La primera condición de diseño será el diámetro de cada probeta pues de estas depende en gran parte las propiedades que debe tener nuestra máquina.

Dentro del catálogo de la empresa seleccionada se verifica una variedad de varillas corrugadas que van desde 4 hasta 8 mm y sus respectivas áreas de 12,6 y 50,3 mm².

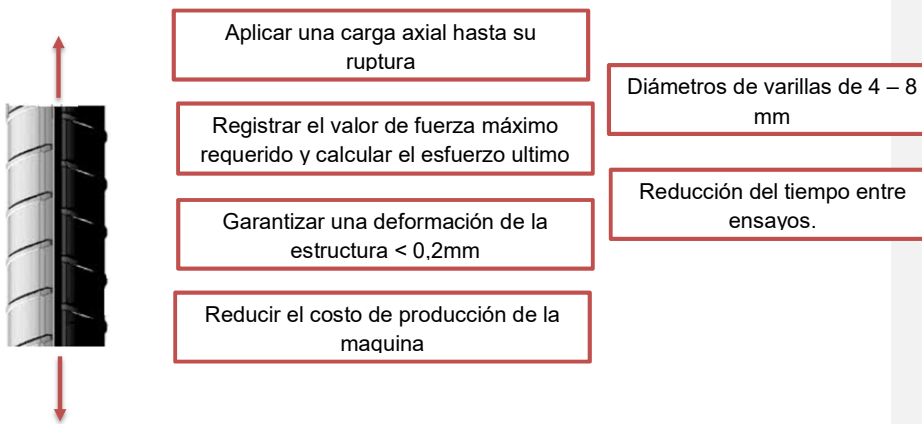
La empresa nos aporta la composición química del acero en cuestión que consta de:

Max 0,3% C, 1,5% Mn, 0,035%P, 0,0045%S, y 0,5% Si.

Estas varillas cuentan con un porcentaje de elongación de 14, 12 y 10 % de acuerdo a los números de octavos de pulgada que van de 2-6, 7-11 y 14-18 respectivamente.

Las varillas según norma cuentan con una resistencia última a la tracción de 585 Mpa (59,65Kgf/mm²). [2]

Se muestra un esquema de los requerimientos del cliente



2.3. Especificaciones

Para la selección de los requisitos de diseño de la máquina se deben tener en cuenta los requisitos del cliente mencionados y traducidos como:

- Diámetro nominal menor: 4 mm
- Diámetro nominal mayor: 8 mm
- Resistencia a la tracción promedio: 585 Mpa. [2]
- Longitud probeta

La longitud de la probeta fue consultada en la norma NTC 2289 donde se tiene como longitud mínima establecida de 200 mm para la prueba de varillas corrugadas, a esto se debe adicionar la sección de agarre de las mordazas, el factor de seguridad de agarre va en los 120 mm de agarre del sistema de sujeción.

$$\text{Longitud probeta} = (200 + 120 * 2) \text{ mm} = 440 \text{ mm.}$$

- Fuerza axial

La fuerza axial inicial de diseño fue calculada por medio de la sección transversal más grande disponible por el catálogo y la resistencia según norma de dicho material, más adelante se realizará un tratamiento de este valor con el objetivo de tener un factor de seguridad que asegure que la maquina puede realizar el ensayo sin falta de fuerza en el sistema de potencia.

$$F = (50,27 \text{ mm}^2) * (585 \text{ Mpa}) = 29407,95 \text{ N} = 29,4 \text{ KN.}$$

- Distancia entre mordazas

Para la distancia entre mordazas se debe tener en cuenta la longitud de probeta y el % de alargamiento de las mismas, iniciamos con una longitud de probeta de 440 mm y según el proveedor como se observa en la tabla 2.

	Diámetro nominal(mm)	Area (mm ²)	# Designación	% Estiramiento
Min.	4	12,56	4M	14%
Máx.	12	113,1	12M	12%

Tabla 1. Porcentaje de estiramiento de probetas según su diámetro. [2]

Al realizar el respectivo cálculo se obtiene:

$$440 \text{ mm} + (440 * 0.14) \text{ mm} = 501.6 \text{ mm}$$

Este valor tiene inmerso un factor de seguridad dado por la sujeción de la probeta ya que está a lo largo de la zona de agarre no se deformará.

- Tiempo de ensayo, instalación y total

Para el tiempo de instalación del operario se realiza un promedio de en el tiempo de instalación en la que el operario tarda 1 min 30 seg.

Para la velocidad del ensayo en el numeral 7,6,4 de la norma ASTM E8M-11 que dice que la velocidad para pruebas en la determinación de resistencia a la tracción. Esta entre 0,05 y 0,5 mm/mm/min, con esta velocidad se tiene un tiempo máximo de ensayo tiempo máx.= 28 min siendo bastante rigurosos, sin embargo, la norma es asequible en cuanto a esto, para determinar un tiempo sin que se pueda afectar el ensayo se debe realizar ensayos que lo determinen con la maquina ya armada y con una maquina patrón con la cual sea posible determinar la velocidad máxima sin que se vea afectados los resultados. [3]

Adicional también tenemos un tiempo de desarme y alistamiento para la siguiente probeta de 1 min.

El tiempo utilizado realizando la suma de los tiempos anteriormente mencionados es de 30 min 30 segundos.

2.4. Soluciones

2.4.1 Estructura

Se tienen los dos siguientes postulados para la estructura de la máquina, esto a consecuencia del estado del arte consultado para las estructuras se evidencia la importancia de tipo H con el fin de tener cargas homogéneas (netamente axial) y no tener una posible flexión en la probeta.

- Consta de una estructura tipo H, donde se ubican de forma diagonal en la base, donde las barras más largas son móviles y sostienen la parte superior de las mordazas, son encargadas de transmitir la potencia a la carga axial, por otra parte, las otras dos barras son móviles y son las encargadas de mantener la rigidez de las mordazas de sujeción inferiores.
- La siguiente alternativa de diseño consta igual mente de dos pares de barras, las primeras son fijas que se encuentran en los extremos de la base, encargadas de mantener la rigidez de las mordazas inferiores y las dos barras internas que son barras móviles que están en el interior, encargadas de transmitir la potencia hacia las barras de sujeción superior que serán las que efectúen la carga axial a la probeta.

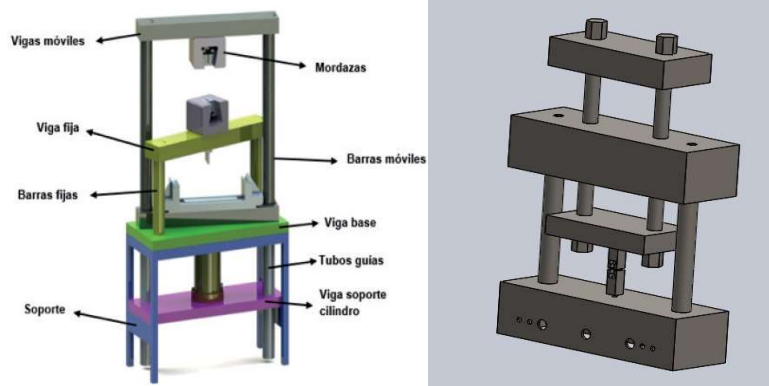


Figura 4. (a) Estructura con cilindro debajo de la base [1], (b) Estructura con el cilindro arriba de la estructura estática.

En el diseño de la estructura se tienen dos enfoques, el tipo de estructura y el material, para este último nosotros debemos tener en cuenta la deformación máxima a la que pueden estar sometidos los elementos de la estructura y para ello se realiza el cálculo de las fuerzas presentes de la siguiente forma:

- Cálculo de la fuerza axial

$$\begin{aligned} &\text{Fuerza de } 29,4 \text{ KN} * Fs \ 2 \\ &F = 1170 \text{ MPa} * (\pi * 8^2) / 4 = 58810,6 \text{ N} \end{aligned}$$

Para la estructura seleccionada se determina una deformación máxima de los componentes de 0.1 mm y se procede a determinar el diámetro de cada barra y la deflexión de las estructuras.

- Determinación del diámetro (deformación Max 0.2 mm)

Despejando de la ecuación de deformación bajo carga axial el área y por ende el diámetro se obtiene:

$$\delta = PL/AE. \ [4]$$

$$D = \sqrt{\frac{4FL}{\pi E \delta}} = \sqrt{\frac{4 * 29405.3 \text{ N} * 420 \text{ mm}}{\pi * 206 \text{ GPa} * 0.1 \text{ mm}}} = 27.62 \text{ mm}$$

Y para las barras móviles se obtiene:

$$D = \sqrt{\frac{4FL}{\pi E \delta}} = \sqrt{\frac{4 * 29405.3 \text{ N} * 493 \text{ mm}}{\pi * 206 \text{ GPa} * 0.1 \text{ mm}}} = 29.934 \text{ mm}$$

(Para dichos cálculos fueron usados los valores de ingeniería inversa.)

- Determinación de la deformación de las vigas

Se establece como crítica por sus condiciones geométricas con un diseño preliminar la base larga por ser la más propensa a deformación por la distancia entre los apoyos, teniendo en cuenta lo anterior las medidas a probar son; L= 380 mm, w=160 mm y h=40 mm.

Calculamos la deformación máxima

$$y_{max} = \frac{-PL}{48EI} [4]$$

$$y_{max} = \frac{-PL}{48EI} = \frac{58810,6 \text{ N} * 380 \text{ mm}}{48 * 200 \text{ GPa} * \frac{160 \text{ mm} * 40 \text{ mm}^3}{12}} = 2.72803 * 10^{-12} \text{ mm}$$

2.4.2 Determinación de los materiales

2.4.2.1 Traducción

- Función: Se trata del diseño de una estructura de una máquina de ensayos a tensión, el cual debe cumplir con los requerimientos básicos según norma y con los requerimientos dichos por la empresa, esta máquina debe realizar una medición acertada del límite de esfuerzo último con un error mínimo con el que se puedan obtener resultados confiables en el menor tiempo posible, las probetas a fallar son varillas corrugadas donde el diámetro de cada una varía en el rango de (4 - 12 mm).
- Restricciones: El espacio ocupado por la máquina debe ser el menor posible, para la medición de la fuerza es requerida una deformación menor a 0.2 mm de cada componente y los equipos deben trabajar sin estar al límite para asegurar una vida útil considerable además la estructura debe ser lo más económica y comercial posible, en la siguiente tabla es posible identificar las conclusiones de los requerimientos.

función	Estructura responsable de soportar la carga ejercida por un sistema de potencia sin deformarse más de 0,2 mm para cada componente.
restricciones	No negociables Deformación < 0,2 mm en cada componente. Longitud de viga (para la de mayor longitud) < 493 mm
	Negociables Densidad que implique un peso menor a 150 Kg Costo máx. 5'000.000. Área de la sección transversal (vigas) < 6960 mm.
objetivo	Aumentar módulo de Young [E] > 100 GPa. disminuir deformación [δ] < 0,2 mm disminuir costo por unidad de volumen [Cv] disminuir densidad [ρ] < 7900 Kg/m ³
variables libres	σ ultimo de la estructura > 585 Mpa. Material

Tabla 2. Definición de requisitos del material.

2.4.2.2. Índices.

Teniendo en cuenta los parámetros objetivo se realizará el análisis de los siguientes índices, teniendo en cuenta que entre mayor sea la magnitud del índice será más o menos apto para su selección:

- E / Cv

Con este índice se busca un aumento del módulo de Young ya que este está relacionado con la deformación que va a sufrir el material, es dividido entre el costo por unidad de volumen como restricción negociable y se pretende un costo bajo lo que hace aumentar el índice.

- $E / \rho^{1/2}$

Con este índice se relaciona la densidad que será traducida en la variación del peso de la estructura y el módulo de elasticidad que está relacionado con la deformación, se pretende dar una mayor importancia a la deformación ya que esta es una restricción no negociable, por otra parte, el peso es restricción negociable por lo que el exponente es de un medio. Su comportamiento es proporcional, entre mayor sea el módulo de Young menor será la deformación entonces requerimos la mayor magnitud posible para el módulo, en el caso de la densidad está relacionada con el peso de forma que entre mayor sea la densidad, mayor será el peso. y esto lograra disminuir el índice.

- Costo por unidad de masa (\$/Kg)

Se decide utilizar este índice debido a que el costo de los materiales debe ser analizado por medio de costo por unidad de volumen y como en el caso de los aceros costo por unidad de masa, ya que en algunos materiales hay una variación.

- $E^{1/2} / Cv \rho^{1/2}$

Con este índice se busca la relación entre la restricción no negociable de la deformación y el costo por unidad de masa, como no se encontró una tabla donde se relacione la masa, finalmente se definió la masa con la relación entre el volumen y la densidad que finalmente resulta ser la masa, se le da una importancia mayor a el costo por lo que la densidad y el módulo de Young por lo que los exponentes de un medio afectan la densidad y módulo de Young.

2.4.2.2. Filtro

Se comienza con la posibilidad de una variedad infinita de materiales por lo que para empezar la selección se realiza la agrupación de los mismo para realizar los primeros pasos de la selección de Ashby, es decir se realizara una selección básica sin exponentes, para establecer la relación con las cartas de comparación de propiedades, los grupos asignados para la selección serán:

- Metales
- Cerámicos
- Polímeros
- Compuestos
- Materiales naturales
- Elastómeros
- Espumas

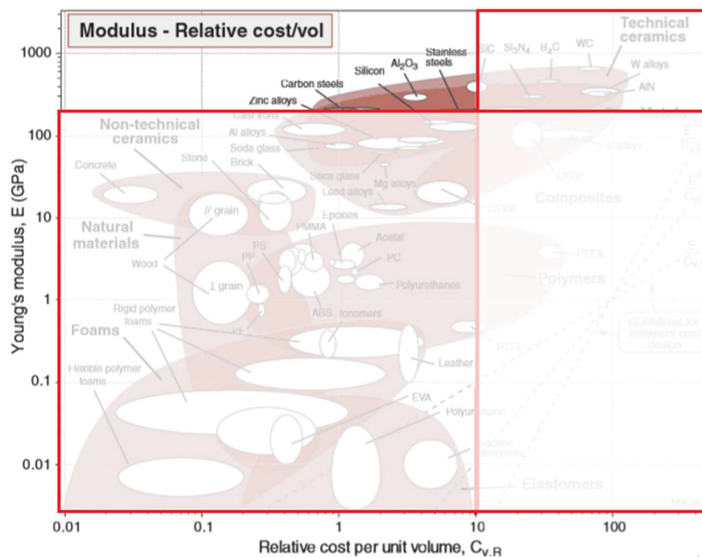


Figura 5. Selección en términos de módulo de Young y costo por unidad de volumen. [8].

Para la determinación de los límites del módulo de elasticidad se establece que la magnitud con la cual se fabricara será de 200 Gpa, por lo que se buscara mejorar esta condición o mantenerla, para el costo se tomó como referencia el valor del acero inoxidable como referencia, ya que es un costo bastante elevado por el cual se pretende que sea menor.

Con la aplicación del primer filtro tenemos aceros al carbono, óxidos de aluminio, aceros inoxidables y carburos de silicio, además realizando un análisis del tipo de material tenemos metales y cerámicos.

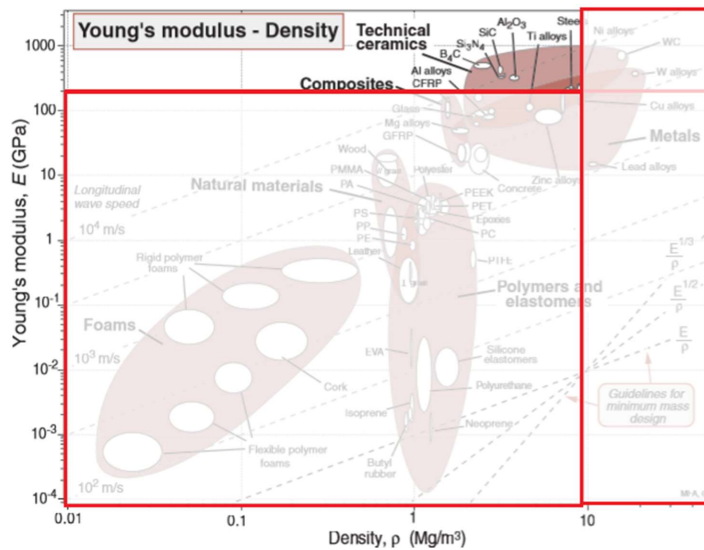


Figura 6. Carta comparativa entre módulo de Young y densidad [8].

El módulo de Young se sigue comportando de la misma manera, en esta tabla se tiene la densidad, pero esta es una propiedad única de cada material y la forma de variarla sería en su composición química con lo cual se cambiarían las demás propiedades, se define utilizar la densidad ya que esta está directamente relacionada con la masa la cual es un valor según simulación con un acero A36 y con la geometría final de 120 Kg por lo que teniendo un factor de seguridad se estipuló en 150 Kg.

En la siguiente ecuación se muestra a partir de donde se obtiene la densidad con la que se realizara la comparación en la tabla de E (módulo de Young) Vs densidad.

$$\rho = \frac{m}{v} = \frac{150 \text{ Kg}}{15356198,81 \text{ mm}^3} = 9,76 \frac{\text{Mg}}{\text{m}^3} [4].$$

Como se pudo observar en la anterior tabla el resultado de los materiales disponibles es: Carburo de boro, Nitruro de silicio, Carburo de silicio, Óxidos de aluminio y aceros.

Por último, dentro de la etapa de filtrado se tiene la evaluación con respecto al peso debido a los resultados en el caso del acero debe ser evaluado también por peso directamente ya que su compra es realizada por kilogramos.

Teniendo en cuenta el resultado de los anteriores filtros se tiene aceros al carbono e inoxidables, óxidos de aluminio y carburo de silicio, con la siguiente tabla se pretende ordenar su costo por kilogramo para tener en cuenta el costo de las opciones disponibles.

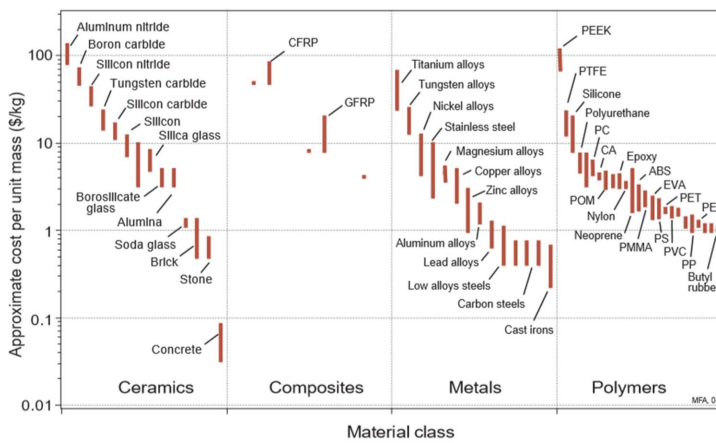


Figura 7. Carta de costo /Kg [8].

Como se puede observar en la carta es posible identificar de mayor a menor costo por unidad de peso como Carburo de silicio, Aceros inoxidables, Óxidos de aluminio, Acero al carbono.

Salida del filtro

Dentro del filtrado se obtienen los siguientes materiales ordenados de mayor a menor precio teniendo en cuenta su costo por unidad de volumen y por unidad de masa:

- Carburos de silicio.
- Aceros inoxidables.
- Óxidos de aluminio.
- Aceros al carbono.

2.4.3 Proceso de producción

Se establecen los atributos a los cuales deben relacionarse los diferentes procesos para el proceso de selección de proceso.

2.4.3.1 Materia prima

Se basa la investigación en el estudio del mercado local, por lo que se verifican las fuentes [14], [15], [16], [17], [18] y [19] para identificar que las formas comerciales para los materiales A36 y AISI1045, junto con los requerimientos de diseño son AISI 1045 se consigue en variedad de diámetro en barras solidas de 6,1 m de longitud, para el A36 se verifica comercialmente con las mismas referencia láminas de hasta 3'' de espesor donde se puede unir para formar la viga sólida, las tuercas se deben comprar con las medidas ya especificadas de las roscas.

Las gomas de fricción deben ser compradas con las medidas especificadas para las barras móviles de 50 mm y por ultimo para la base se deben comprar platinas de 8 mm de espesor.

2.4.3.2 Forma

La forma se divide en cada pieza ya que no será el mismo mecanizado para todas las piezas

Barras móviles y fijas: Se debe cilindrar, refrentar y roscar.

Barras cuadradas: Se deben cortar, pulir, soldar y perforar.

Platina 8mm: se deben cortar y soldar a la viga base.

2.4.3.3 Ensamble

1. Colocar barras fijas en base y enroscar las tuercas para ajustar las barras fijas con la viga base.
2. Fijar a la mesa por medio de los ángulos con orificio en sus extremos, primero ajustar ángulo a la viga base y luego a la mesa.
3. Poner viga base sistema de potencia en barras fijas y asegurar la unión con las roscas.
4. Poner gomas de fricción.
5. Introducir barras móviles dentro de las gomas de fricción.
6. Instalar viga superior y asegurar con las tuercas.

7. Instalar viga porta mordaza superior y asegurar con tuercas.
8. Instalar sistema de potencia entre viga superior y viga base del sistema de potencia.
9. Roscar celda de carga y a esta misma roscar la mordaza inferior.
10. Roscar mordaza superior.

Traducción

Se requiere la producción de las vigas base de sistema de potencia, las cuales tienen cierta restricción de deformación, tolerancias dimensionales y no poseen una rugosidad definida mayor a la aportada por el proceso.

Su forma se define como rectangulares, simétricas y deben estar perforadas.

Se deben ensamblar con las barras por medio de las roscas de las barras y una tuerca dispuesta para la rosca, en el caso de la viga base de sistema de potencia se debe introducir las barras móviles en la parte interior de las gomas de fricción, por último la base por medio de los ángulos se ajusta a la mesa.

FUNCION	Producción de vigas rectangulares con deformación < 0,2 mm Tolerancias de $\pm 0,5$ mm Rugosidad de 100 μm . Unión por medio de una rosca y tuerca para la barra
RESTRICCIONES	No negociables Tolerancias Forma Uniones
	Negociables Rugosidad Costo
OBJETIVOS	Disminuir el tiempo de producción. Facilitar el proceso de ensamble.
VARIABLES LIBRES	Selección del proceso Combinación de procesos

Tabla 3. Definición de requisitos del proceso.

Cartas de selección de procesos

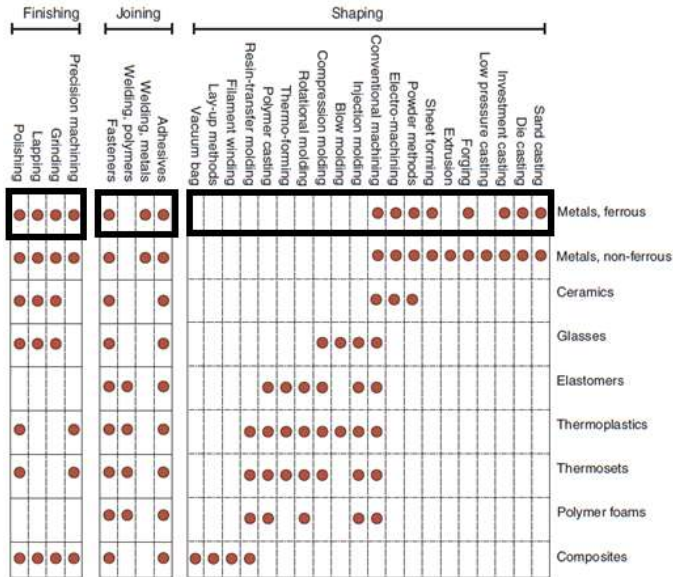


Figura xx. Matriz de procesos y material. [8]

El material a trabajar es un metal ferroso por lo que se tienen los procesos sand casting, die casting, investment casting, low pressure casting, forging, sheet forming, powder methods, electro-machining, conventional machining.

Uno de los criterios para la selección del proceso es la forma, pero esta tabla arroja los mismos resultados que la matriz con material, por lo cual se procede con la siguiente tabla, teniendo en cuenta la función y restricciones.

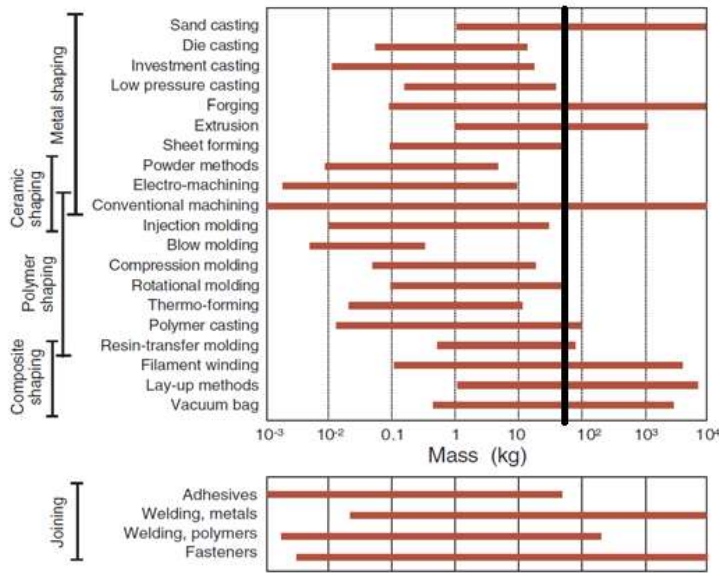


Figura xx. Matriz de procesos por rango de masa.

Después del filtro de la tabla por masa se tienen los siguientes procesos: sand casting, forging, sheet forming y conventional-machining.

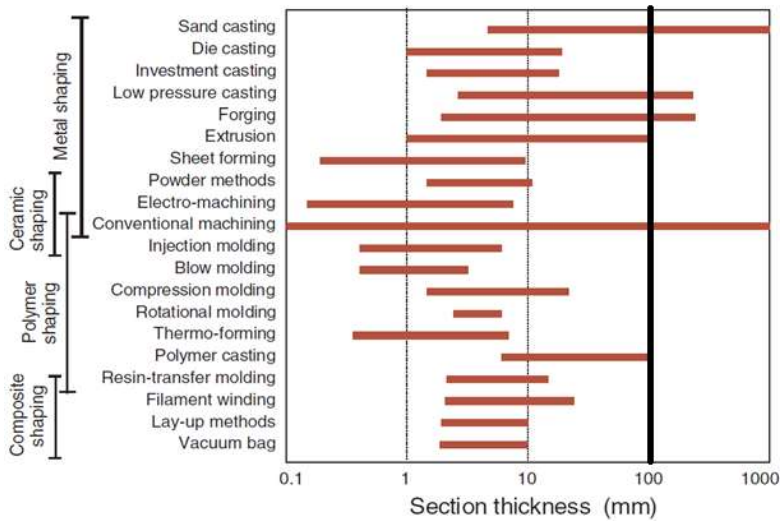


Figura xx. Matriz de procesos por espesor.

Por ultimo con la carta de espesor, se tiene mínimo de 100 mm y se obtiene al final de los filtros por las cartas: sand casting, forging y conventional-machining.

2.4.4 Sistema de potencia

Para la determinación del sistema de potencia se tienen las siguientes alternativas con sus respectivas ventajas y desventajas que se pueden observar en las siguientes tablas.

Características	NEUMATICO	HIDRAULICO	SERVOMOTOR
Fuerza	Baja	Muy alta	Alta
fugas	Perdida de energía	Contaminación	No tiene
Movimiento lineal	Fuerzas limitadas, velocidad dependiente de la carga	Buen control de velocidad, fuerzas altas	Buen control de velocidad y fuerza
Estabilidad	Baja	Alta	Muy alta
Coste de alimentación	Muy alto	Alto	Bajo
Elementos de control	Válvulas distribuidoras direccionales	Válvulas distribuidoras direccionales	Driver

Tabla 4. Ventajas y desventajas de sistemas de potencia. [5]

	Neumáticos	Hidráulicos	Eléctricos
Energía	Aire a presión (5-10 bar)	Aceite mineral (50-100bar)	Corriente eléctrica
Opciones	Cilindro Motores de paletas Motor de pistón	Cilindros Motores de paletas Motor de pistones axiales	Corriente continua Corriente alterna Motor paso a paso Servomotor
Ventajas	Baratos Rápidos Sencillos Robustos	Rápidos Alta relación potencia-peso Auto lubricantes Alta capacidad de carga Estabilidad frente a cargas estáticas	Precisos Fiables Fácil control Sencilla instalación Silenciosos

Desventajas	Dificultad de control continuo Instalación especial (compresor y filtros) Ruidoso	Difícil mantenimiento Instalación especial (filtros, eliminación aire) Frecuentes fugas Caros	Potencia limitada
-------------	---	--	-------------------

Tabla 5. Ventajas y desventajas de sistemas de potencia. [5]

2.4.5 Sistema de control

Sistema a Controlar, sistema hidráulico.

Esquema de control de lazo cerrado.

Activos

Reguladores de presión

Alta

Baja o precisión

Reguladores de Flujo

Pasivos

Medición de presión

Medición de Flujo

2.4.6 Sistema de medición

Se realiza los tipos de celdas de cargas que se acoplen a los requerimientos de la máquina, se selecciona la siguiente celda, con sus respectivos datos geométricos y característicos funcionales.

Capacidad máxima de producto: 100.000 N

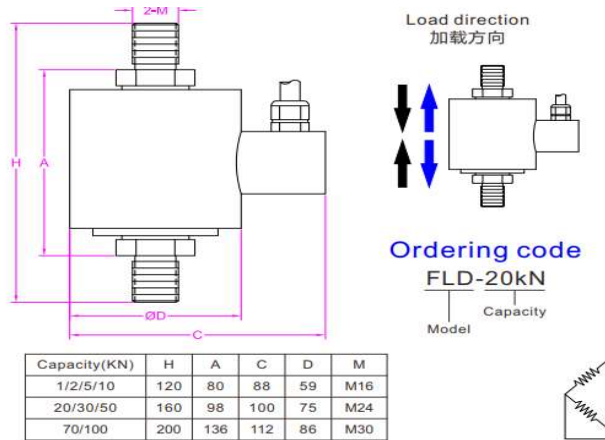


Figura 8. Sistema de medición. [13]

2.4.7 Sistema de sujeción.

Dentro de la construcción de la máquina fueron consultados diferentes tipos de mordazas, desde un tipo de mordaza con pinza y en sus respectivas superficies de agarra un labrado que permite perforar el material y lograr el menor deslizamiento, hasta las mordazas más sencillas que consta de una geometría la cual economiza tiempo y costo debido a que su montura es demasiado sencilla, por otro lado tenemos de tipo rosca y la probeta se le realiza la roza que empata con los cabezales de la máquina y se asegura una tensión completamente axial.



Figura 9. a) Mordaza tipo conica con superficie labrada [12], b) Mordaza tipo pinza [13], c) Mordaza de agarre por forma [14] y c) mordaza de agarra por forma variable [15].

El parametro fundamentas de selecci3n para el sistema de sujecion fue con base en las necesidades del cliente ya que este en realidad no necesita saber su deformacion ni como se produce la falla, lo que se reduce a que el cliente solicita es efuero maximo por lo que es deseable el valor de la carga netamente axial.

Por esta razon se unifican las ideas en las que es posible notar una similitud en su funcion (sostener la probeta transmitiendo la fuerza de forma que no se cree flexion), la seleccion del tipo de mordaza se discutirá en dise1o detllado, con fines de la simulacion se procede a utilizar tipo de sistema de sujecion por forma que se puede obsservar en la figura 9c). debido a su facilidad en el dise1o y aportara el valor requerido que simplemente es la carga axial, en la figura 10 podemos observar el dise1o en el CAD.

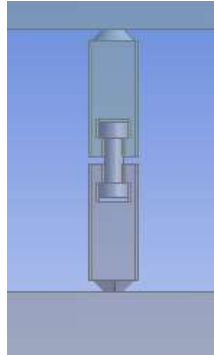


Figura 10. Tipo de mordaza dispuesta para simulación.

2.5. Especificaciones según norma (NTC2289, ASTM E-8)

- Se debe realizar un ensayo de tracción y un ensayo de doblado por cada diámetro de barra laminada de cada colada.

- Se debe realizar un conjunto de ensayos de propiedades dimensionales, incluidos el peso (masa) de la barra, espaciado, altura y separación entre los extremos de los resaltes, por cada diámetro de barra de cada colada.

-(EN CASO DE FALLA) Si los resultados de una probeta de tracción original no cumplen los requisitos mínimos especificados, pero están a menos de 14 MPa (2 000 psi) para la resistencia a la tracción, y a menos de 7 MPa (1 000 psi) para la resistencia a la fluencia, o a menos de dos unidades porcentuales para el valor de alargamiento requerido, se debe permitir un reensayo en dos probetas tomadas aleatoriamente por cada probeta de tracción original que falle en el lote. Ambas probetas ensayadas deben cumplir los requisitos de esta norma. - La composición química para el análisis de colada debe limitarse a los valores presentados en la tabla 1:

Composición química de la colada	
Elemento	% máximo
carbono	0,3
manganeso	1,5

fosforo	0,035
azufre	0,045
silicio	0,5

Tabla 6. Composición química de la colada.

- El análisis de colada debe garantizar que el carbono equivalente sea máximo 0,55 %, calculado de acuerdo con la ecuación 1:

Ecuación 1. %Carbono equivalente

Los resaltes deben estar separados a distancias iguales a lo largo de la barra. Los resaltes ubicados en lados opuestos de la barra deben ser similares en su forma, tamaño y tipo.

Los resaltes deben estar ubicados de tal manera que formen un ángulo no menor de 45° con respecto al eje de la barra. Cuando la inclinación de los resaltes forme un ángulo con el eje de la barra cuyo valor esté entre 45° y 70°, inclusive, los resaltes deben tener una inclinación alternadamente inversa sobre cada lado de la barra, o aquellos ubicados sobre un lado deben estar invertidos en su dirección con respecto a los del lado opuesto. Cuando el ángulo de los resaltes es superior a los 70° no se requiere dirección inversa.

- El espaciamiento promedio o la distancia entre los resaltes, a cada lado de la barra, no debe exceder de 7/10 del diámetro nominal de la barra.

- La longitud total de los resaltes debe ser tal que la distancia de separación (medida como cuerda) entre los extremos de los resaltes no debe exceder del 12,5 % del perímetro nominal de la barra. Cuando los extremos terminan en una vena, el ancho de la vena debe ser considerado como la separación entre los extremos de los resaltes. La sumatoria de las distancias de separación no debe exceder el 25 % del valor correspondiente al perímetro nominal de la barra. El perímetro nominal de la barra es 3,141 6 veces el valor del diámetro nominal.

- Se debe realizar tamaño de muestra 1 por cada 50 de toneladas de la misma colada.

Capítulo 3. Diseño detallado

3.1. Estructura

Primero se realiza una simulación de geometría inversa y a continuación se procede con la verificación de los demás factores del diseño en detalle.

En la siguiente figura se puede observar el modelo de la maquina realizado por el método de ingeniería inversa.

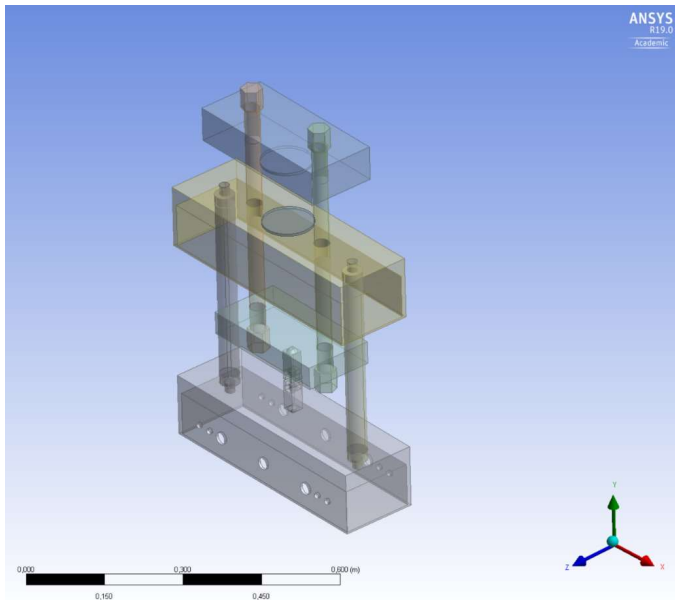


Figura 11. Geometría de la simulación.

Ahora se realiza una primera simulación para determinar el parámetro más importante en el diseño que es la deformación máxima generando la suficiente confiabilidad por medio de parametrización en cuanto al refinado de la malla y del resultado de la deformación total del punto crítico de la estructura.

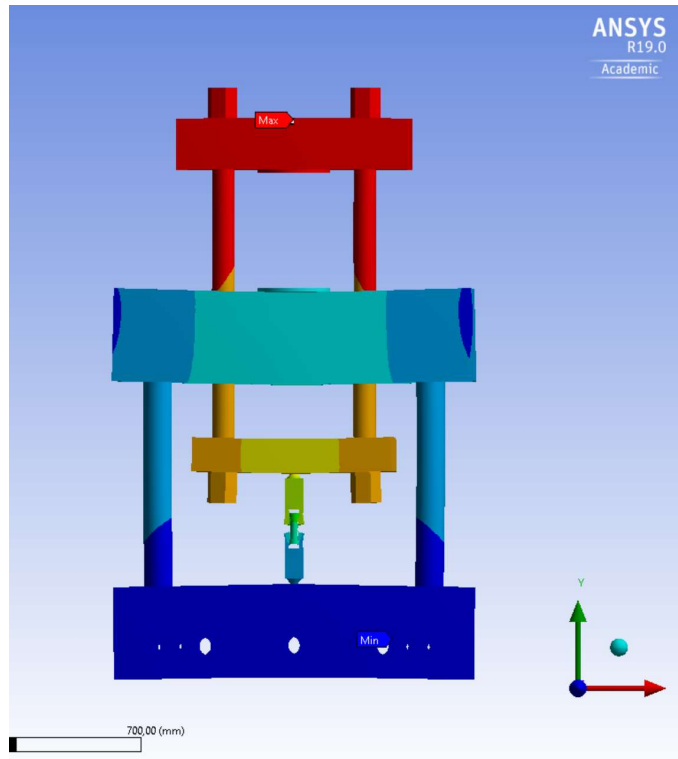


Figura 12. Análisis de la deformación crítica en la estructura.

Se realiza la parametrización con el punto máxima de deformación de la estructura y como se pudo observar en la tabla de resultados de las diferentes simulaciones el rango donde tenemos una deformación en el punto crítico menor al 5 % es con valores promedio del tamaño del elemento menores a 14 mm, por lo que a partir de este tamaño de elementos eligiendo el mayor con fines de efectividad en cuanto a tiempo se realizaran las siguientes simulaciones obteniendo el menor tiempo sin que deje de ser confiable el resultado.

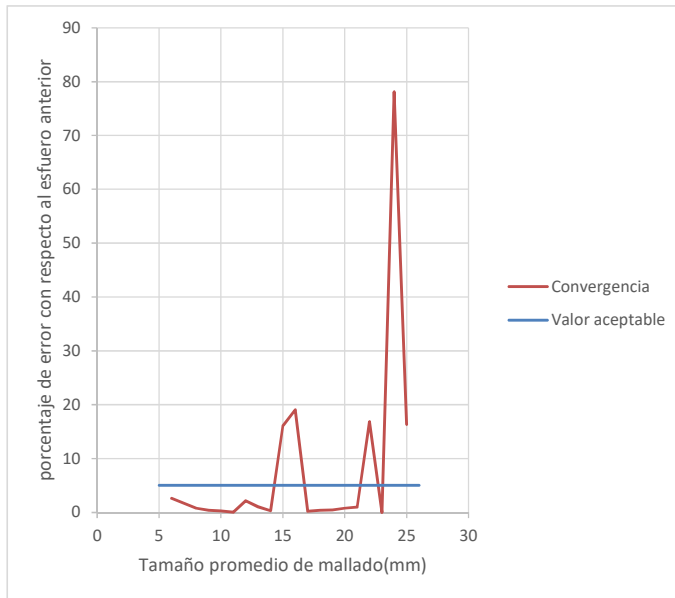


Figura 13. Variación del porcentaje de error entre simulaciones con diferente tamaño de mallado.

3.1.1 Validación geométrica

3.1.1.1 Análisis de Distancias operativas

Como se puede observar en la figura 9 b) con el sistema de sujeción seleccionado es posible la instalación de la probeta en las mordazas sin requerir aumentar la distancia entre ellas hasta que, entre la mordaza, se debe aumentar la distancia entre las pinzas hasta que sea mayor al diámetro de la probeta.

Para la validación geométrica del sistema de sujeción de la barra se realiza un pre diseño, algo demasiado básico, con el objetivo de analizar el espacio geométrico que ocuparía una mordaza con las características necesarias, se tiene dos estados en la mordaza, cuando se sujeta la probeta de mayor diámetro y cuando se sujeta la probeta de menor diámetro. Se debe verificar el área ocupada por cada mordaza, su espesor no se verifica debido a que no existe una limitación cercana en cuanto a este parámetro.

En la siguiente figura se muestra el pre diseño con el cual se realizará la verificación geométrica.

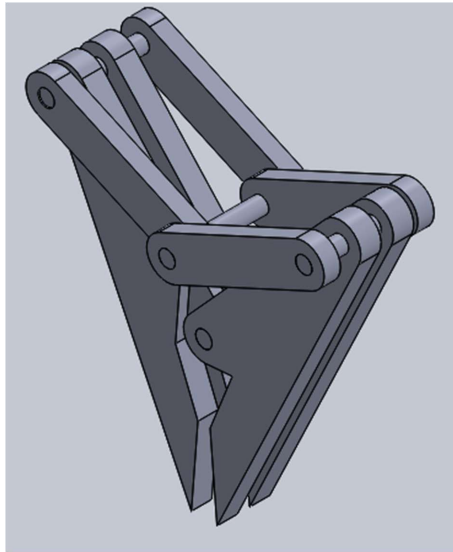


Figura 14. Pre diseño del sistema de sujeción.

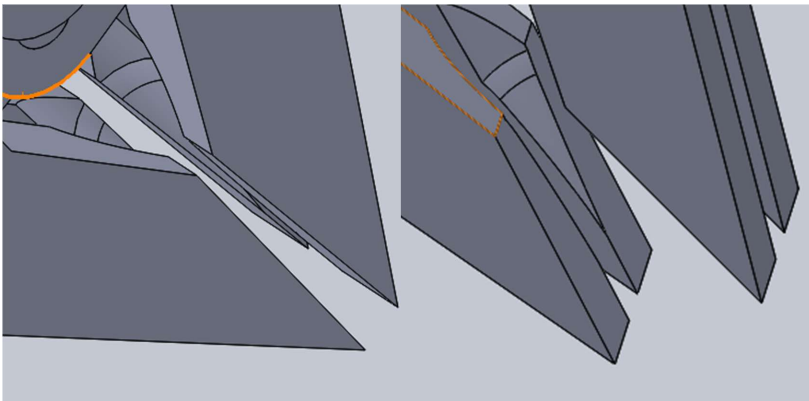


Figura 15. Sistema de sujeción pre diseño de agarre de mordazas.

Dentro de la validación geométrica del sistema de sujeción se presentan dos posiciones con los diámetros de 4 y 8 mm, donde se consideran extremos dando un factor de seguridad utilizando 3 a 9 mm, en la validación los datos obtenidos fueron:

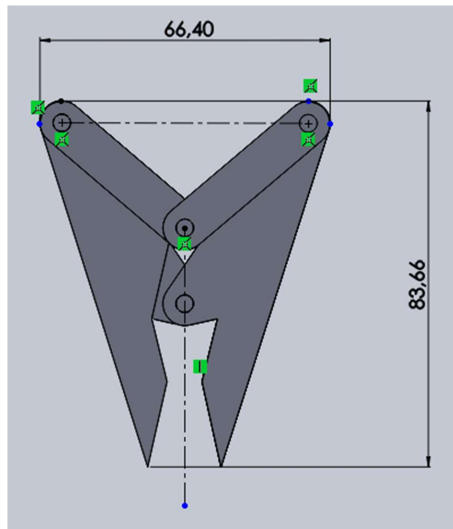


Figura 16. Validación geométrica de la mordaza con varilla de 9 mm.

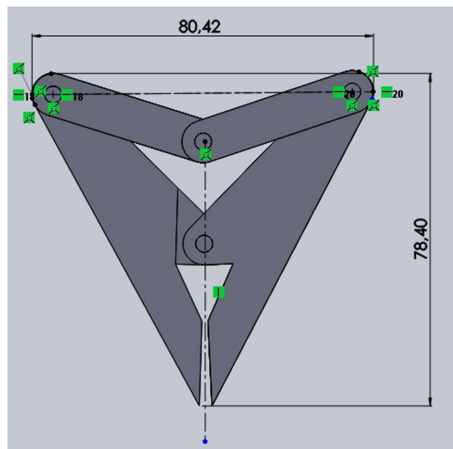


Figura 17. Validación geométrica de la mordaza con varilla de 3 mm.

Como se puede observar el espacio ocupado por las mordazas cuando sujetan probetas de 3 mm es de 78,4 mm de alto por 80,42 mm de ancho, en cuanto a las mordazas cuando sujetan una probeta de 9 mm su espacio es de 83,66 mm de alto por 66,4 mm de ancho.

La distancia máxima entre mordazas está determinada por el estiramiento de las probetas por lo que se verifica que la empresa en un análisis determino con máximo 16 % pero se considera que algunos aceros pueden tener un porcentaje de estiramiento mayor, entonces se estima la distancia entre mordazas con un 40 % adicional, además es necesario pensar en una distancia adicional ya que en el momento de la ruptura la inercia de la maquina genera un movimiento adicional.

Para la distancia entre mordazas tenemos como mínimo 200 mm y máximo 300 mm teniendo en cuenta la deformación y un factor de seguridad que soporte el movimiento generado por inercia, además con estas medidas es fácilmente deducible la carrera del cilindro que es la misma.

3.1.1.2 Análisis de Distancias de Trabajo

Para la determinación de la carrera que debe tener el cilindro hidráulico y la verificación de las distancias de trabajo, se debe establecer cuáles son las distancias máximas y mínimas reales en cuanto al funcionamiento en general.

La variación de desplazamiento se debe a la diferencia de los diámetros, para un diámetro de 4 mm un porcentaje de elongación de 14% y para un diámetro de 8 mm tenemos 12 %.

La longitud según norma de la probeta efectiva (sin contar la sujeción de las mordazas) es de 200 mm, a esto se tiene que aumentar la zona de sujeción que se determinó como el 20 % de la longitud de la probeta.

Con esto se tiene una distancia máxima y mínima después de la aplicación de la fuerza teniendo en cuenta la deformación de la probeta de:

Probeta de 3 mm

10 mm (elemento de conexión) *2+80,15 mm (longitud de mordaza) *2+200 mm (longitud probeta)
*1.14 (porcentaje de estiramiento de la probeta)= 408.3 mm.

Probeta de 10 mm.

10mm (elemento de conexión) x2+84.46mm (longitud de mordaza) *2+200 mm (longitud probeta)
*1.12 (porcentaje de estiramiento de la probeta)= 412.92 mm.

La distancia entre vigas teórica en el momento de la ruptura es como máximo 412.92 mm y mínimo 408.3 mm, por otra parte, la carrera del cilindro influye en términos de la desviación del corte de la longitud de la probeta ya que para la instalación de la misma el sistema sujeción no necesita gran desplazamiento (la probeta se instala introduciendo lateralmente y a continuación se ajustan las mordazas).

Teóricamente la carrera del cilindro será el desplazamiento de cada una de las probetas es decir como máximo 228 mm y 224 mm con una desviación correspondiente al corte.

3.1.2 Validación Funcional

Se realiza un análisis de diseño mecánico en detalle de adentro hacia afuera, es decir desde el objetivo que es la ruptura de la probeta recorriendo la “trayectoria” que sigue la fuerza hasta llegar a la base, con el fin de no descartar el análisis en detalle de alguna pieza perteneciente a la estructura.

Posteriormente se realiza un análisis de cada una de estas piezas por medio de una tabla de antes, durante y después, así se asegura que además de analizar cada uno de los componentes se verifica su funcionalidad a lo largo del ensayo de tensión.

a) Probeta

Elemento principal objeto del diseño de la máquina con la cual debemos realizar su ruptura midiendo el esfuerzo máximo que soporta.

b) Mordazas

Encargadas de sostener la probeta para poder transmitir una fuerza únicamente axial hasta que la probeta se rompa, debe aparte de transmitir la fuerza ejercida por el sistema de potencia debe realizar determinada presión para evitar el desgarramiento de la probeta.

Existen diferentes tipos de mordazas que se pueden utilizar:

- Mordazas tipo cónica con labrado.
- Mordazas tipo rosca.
- Mordazas de encaje geométrico fijo.
- Mordazas de encaje geométrico variable.

c) Porta mordazas

Elemento dentro del diseño encargado de realizar la transmisión de la fuerza entre mordaza y la viga porta mordaza superior, su función es mantener fija la mordaza sin crear flexión aguas abajo.

La conexión entre mordaza y porta mordaza será una rosca la cual debe soportar la fuerza neta ejercida por la máquina (60 KN), tenemos tres posibles postulados para realizar dicha función, podemos tener un pasador, perforando el porta mordazas y la viga porta mordaza superior, la segunda opción es una tuerca y el porta mordazas roscado además de tener una tuerca en la parte inferior, por último se tiene una rosca soldada en la parte superior de las vigas porta mordaza superior o inferior.

d) Vigas

- a. Viga superior

Viga encargada de transmitir la fuerza que ejerce el cilindro sobre ella hacia las barras móviles, está sometida a una deflexión que debe ser mínimo 0,1 mm. Es posible modificar el área en función de modificar su inercia y esto está directamente implicado en la deformación
 - b. Viga base de sistema de potencia

Viga encargada de soportar la fuerza ejercida por el cilindro que a causa de ser par con la ejercida será de igual magnitud, con esta viga lograremos la menor deformación por medio de la modificación del área transversal.
 - c. Viga porta mordaza superior

Es la viga que transmite la fuerza desde las barras móviles hacia la mordaza, es importante su deformación por lo que demos trabajar y optimizar su área transversal.
 - d. Viga porta mordaza inferior

Viga encargada de sostener la mordaza de tal forma que su deformación sea uniforme y esto no cree tensión en la probeta de igualmente se debe trabajar con su inercia provocada por el área transversal.
- e) Barras móviles
- Son las barras que transmiten la fuerza entre las vigas superior y la porta mordaza superior deben ser simétricas respecto al centro de la máquina, su conexión con la viga superior es para realizar la reacción de la fuerza ejercida por el cilindro y su conexión con la porta mordaza superior es para ejercer dicha fuerza con el sistema de sujeción, podemos realizar la variación del material para obtener una mayor rigidez y/o también podemos realizar la variación del diámetro de las mismas.
- a) Sistema de sujeción de barras móviles

Si misión es mantener unidas las barras móviles con las vigas superior y la viga superior porta mordaza, cada uno de estos sistemas debe soportar la misma fuerza por lo que la carga neta se divide en dos y es el valor con el que se realizara el cálculo. Es posible lograr el objetivo de las mismas por medio de un tornillo de cabeza hexagonal y se realiza la rosca sobre la barra con opción de utilizar arandelas en caso de que la cabeza hexagonal del tornillo ubicada comercialmente no es lo suficiente mente grande, otra solución posible es realizar el roscado en la barra y se le enrosca una tuerca de tipo hexagonal con la posibilidad igualmente de utilizar arandelas.
 - b) Gomas de fricción

Elemento presente entre las barras móviles y la viga base del sistema de potencia, debe permitir el movimiento de las barras móviles manteniéndolas totalmente vertical para evitar tensión, se debe realizar un encaje sobre la viga en el que entra la goma y en su interior debe estar la barra móvil, otra opción para permitir el movimiento es un buje de un material que se desgaste primero con objetivo de evitar el desgaste de las barras y evitar deformación en las barras.

f) Barras fijas

Barras encargadas de impedir el movimiento de la base que soporta el sistema de potencia, la fuerza reacción se ejerce sobre la viga base, debe tener la menor deflexión para impedir movimiento en las gomas de fricción, podemos modificar el área transversal.

a) Sistema de sujeción de barras fijas

La fuerza transmitida es el par de la ejercida a la probeta por lo cual posee igual magnitud, su función es de sostener las barras fijas y descargar la fuerza sobre la viga base, al tener dos barras esta carga se divide en dos y es la magnitud a la cual se debe realizar el diseño de la rosca, se poseen las mismas posibilidades que el sistema de sujeción de barras móviles. La primera es roscar la barra y utilizar un tornillo con o sin arandela o también podemos roscar la barra y utilizar una tuerca con o sin arandelas.

g) Sujeción de maquina

Según la simulación mostrada en la siguiente figura en la viga base ocurre una deformación la cual no afecta para nada el sistema de sujeción por lo cual se asume que el sistema de sujeción debe resistir netamente el volcamiento de la máquina, esto puede ser logrado a través de un sistema de ángulos de 90 grados con unos tornillos y sus respectivas tuercas, cada ángulo con sus respectivos tornillos en cada esquina.

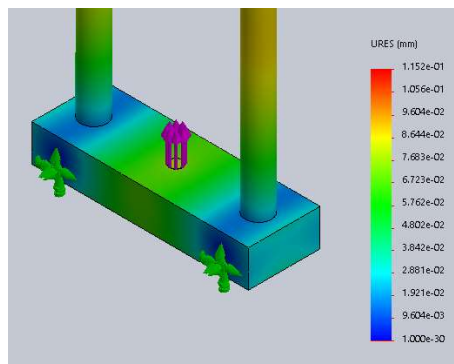


Figura 18. Simulación de la deformación en la base.

Sistema encargado de mantener la maquina en su lugar y evitar ladoo o un posible volcamiento. El diseño es libre debido a la ausencia de fuerzas presentes en el mismo, su cálculo va derivado a perturbación que puedas volcar la máquina.

En la siguiente tabla podemos observar un análisis de antes, durante y después del diseño mecánico junto con sus posibles soluciones, lo que aportara una visión general acerca de cada uno de los componentes a lo largo del funcionamiento de la maquina con su respectivo montaje y desmontaje.

ELEMENTO	ANTES	DURANTE	DESPUES	POSIBLES SOLUCIONES
Probeta	Debe tener una longitud de 240 mm y debe ser instalada de forma lateral y ajustada en las mordazas.	Debe deformarse dependiendo de su diámetro de 12- 14 % en la zona libre (no hay contacto con la mordaza).	Ya ocurrió la fractura, pero aparte de la deformación existe un desplazamiento o mayor generado un tiempo corto después de la ruptura.	N/A.
Mordazas	Las mordazas tienen solo un punto de apoyo sobre cada viga respectivamente, debe estar con la apertura del diámetro exacto para que la probeta entre ajustada	Conforme aumenta la fuerza aplicada sobre el eje, esta tiene que aumentar la fuerza dispuesta para el agarre para la probeta y empezar a aplicar la fuerza axial.	En el momento que ya ocurrió la ruptura la mordaza perderá la fuerza axial y por ende la fuerza de agarre lo que generará posiblemente que caiga la pieza o será de fácil desmonte.	*Mordaza tipo cónica con labrado para el agarre. *Mordaza de encaje por geometría. *Mordaza tipo pinza.
Porta mordaza	Tiene que soportar el peso de la mordaza en su respectiva dirección.	Debe tener la suficiente fuerza para lograr sostener las mordazas durante la aplicación de la fuerza.	Al momento de la ruptura ocurre un cambio de fuerza repentino y debe sostener la inercia del sistema mordaza probeta.	*Viga y porta mordaza perforado por un pasador. *Pasador antes y después de la viga. *Tuerca soldada en la parte superior de la viga.

Viga superior	La viga está en estado de reposo, apoyada sobre las barras móviles.	A medida que aumenta la carga efectuada por el cilindro, la viga se ira deflectando de forma simétrica.	La viga recupera su estado de reposo debido a la ruptura pierde la carga y experimenta un proceso de fatiga demasiado leve.	*Es posible la variación de longitud y área.
Viga base de sistema de potencia	Debe estar apoyada sobre las barras fijas, soporta el sistema de potencia.	Debe soportar el efecto de la fuerza ejercida por el sistema de potencia, su deflexión será progresiva.	La viga recupera su estado de reposo debido a la ruptura pierde la carga y experimenta un proceso de fatiga demasiado leve.	*Es posible la variación de longitud y área.
Viga porta mordaza superior	Soportada sobre el sistema de sujeción de las barras móviles, tiene una pequeña carga en su centro ejercida por el peso de la mordaza superior y la porta mordaza de la misma.	Aumentará su deflexión a medida que aumenta la carga ejercida sobre la porta mordaza y finalmente a la probeta y mordaza.	La viga recupera su estado de reposo debido a la ruptura pierde la carga y experimenta un proceso de fatiga demasiado leve.	*Es posible la variación de longitud y área.
Viga base y porta mordaza inferior	Apoyada sobre la mesa de trabajo con ayuda del sistema de sujeción de base, de soportar el peso del resto de la maquina a través de las dos barras fijas dispuestas sobre ella de forma simétrica.	Sufre un proceso de deflexión provocado progresivamente por las barras fijas una en cada lado y en el centro debe soportar la fuerza ocasionada por el sistema porta mordaza, mordaza y probeta.	La viga recupera su estado de reposo debido a la ruptura pierde la carga y experimenta un proceso de fatiga demasiado leve.	*Es posible la variación de longitud y área.

Barras móviles	Debe soportar el peso de la viga superior y está reposando sobre el sistema de sujeción de las barras móviles	Aumenta la tensión y ella deben aumentar su longitud, además tiene un momento en su interior realizado por la deflexión de la viga.	Recupera su estado inicial teniendo fatiga muy leve.	*Variación del diámetro y su longitud
Sistema de sujeción barra móviles	En el caso de las superiores simplemente en reposo sobre las barras móviles, para las inferiores deben soportar las barras móviles y la viga superior.	Deben ejercer una fuerza par al par ejercido por la deformación de la viga, lo que generara la rigidez de las barras móviles.	Recupera su estado inicial teniendo fatiga muy leve.	*Se realiza un encaje de la barra móvil en las vigas de porta mordaza superior y viga superior, se rosca la barra tipo hembra y se dispone de un tornillo de tipo hexagonal con arandela. *Se realiza un encaje de la barra móvil en las vigas de porta mordaza superior y viga superior, se rosca la barra tipo macho con su respectivo cilindrado y se dispone de una tuerca de tipo hexagonal con arandela.
Elemento fricción	Debe permitir el movimiento de las barras móviles para el ajuste de la probeta en las mordazas.	Debe permitir el movimiento de las barras móviles y además debe soportar una carga radial ejercida por la deformación de las barras.	Recupera su estado inicial teniendo fatiga muy leve.	*Se debe realizar el cálculo del tipo de goma o el material del buje que permita el movimiento de las barras móviles.

Barras fijas	Sostiene el sistema de potencia y sobre él se encuentra el marco compuesto por viga superior, viga superior porta mordaza, barras móviles y sistema de sujeción barras móviles a través de la viga base del sistema de potencia.	Tendremos una pequeña deformación ocasionada por compresión por un par generador por la viga de soporte de sistema de potencia y su apoyo en la viga base.	Recupera su estado inicial teniendo fatiga muy leve.	*Variación del diámetro y su longitud
Sistema de sujeción barras fijas	En el caso de los inferiores deben soportar el peso de las barras fijas y el sistema aguas arriba, para las superiores deben estar enroscadas y soportadas en la parte superior de las barras fijas.	Deben ejercer una fuerza par al par ejercido por la deformación de la viga, lo que generara la rigidez de las barras fijas.	Recupera su estado inicial teniendo fatiga muy leve.	*Se realiza un encaje de la barra fija en las vigas de soporte de sistema de potencia y base, se rosca la barra tipo hembra y se dispone de un tornillo de tipo hexagonal con arandela. *Se realiza un encaje de la barra fija en las vigas de soporte de sistema de potencia y base, se rosca la barra de tipo macho con su respectivo cilindrado y se dispone de una tuerca de tipo hexagonal con arandela.
Sistema sujeción de base	Debe soportar un posible volcamiento de la máquina.	Debe soportar un posible volcamiento de la máquina y debe mantener la rigidez de la misma.	Debe soportar un posible volcamiento de la máquina.	*Se realiza el anclaje a la mesa de trabajo por medio de ángulos de 90 grados con un tornillo y tuerca

				en cada extremo del mismo.
--	--	--	--	----------------------------

Tabla 7. Validación funcional antes, durante, después y sus opciones de solución en función de las diferentes piezas.

3.1.3 Diseño mecánico detallado

A continuación, se define el diseño detallado con base en la tabla anterior, teniendo en cuenta las opciones de solución planteadas se realiza bien sea su respectivo calculo o sencillamente se define el diseño.

a) Mordazas

Se escogen las mordazas de tipo pinza, esto debido a que la de forma cónica es realmente efectiva pero es demasiado costosa para la aplicación requerida, esta se debe utilizar en casos donde se requiera una gran exactitud en cuanto a la deformación del material, en el caso de la mordaza por encaje es un tipo de mordaza donde se evidencia la facilidad de instalación pero tiene la dificultad que la pieza requiere un mecanizado y el cliente desea una menor costo, facilidad y tiempo entonces la opción más viable es la de tipo pinza.

Se realiza un diseño basándose en una pinza ubicada comercialmente por un valor de 476 \$USD (con una resistencia mucho menor a la requerida), dejando como reto el diseño de la misma ya definido. En el espacio geométrico donde se ubican las pinzas se deja un espacio adicional.

En la figura 14 podemos observar el diseño seleccionado anteriormente.

b) Porta mordaza superior e inferior.

Se realiza el descarte a la sujeción de tipo pasador debido a dos razones, el hecho de tener puede ayudar con la rigidez de la máquina, lo cual es el objetivo, además la rosca permite una fácil instalación y disminuye si la rosca está bien centrada la presencia de flexión en la probeta.

La rosca seleccionada como ya se verá a continuación el sistema de medición posee una rosca M30-2 por lo cual se decide utilizar el mismo tipo de rosca, teniendo sus ventajas debido a la facilidad en los procesos de fabricación ya que solo se manejará un mismo

tipo de rosca entonces podemos realizar la operación de roscado varias veces sin necesidad de realizar el cambio de herramienta.

Para la parte geométrica se tienen dos aspectos en cuenta, el primero es que debe soportar la carga por lo que se diseña para que soporte sin llegar a flexión, esto nos define los diámetros, por otro lado, tenemos la longitud donde se verifica la validación geométrica y se tiene la longitud requerida por la pinza, la longitud requerida por la pinza, además se deja un factor de seguridad para el diseño de la pinza.

El acople dependiendo si es la superior o inferior se define en la superior por el acople de la rosca con la viga porta mordaza superior, en el caso de la inferior se realiza el acople por medio de una roca con la celda de carga.

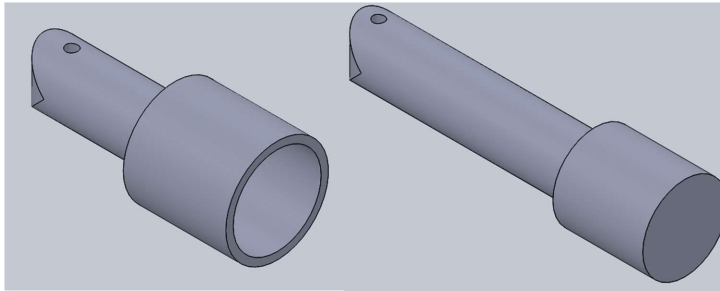


Figura 19. A) Porta mordaza inferior, b) porta mordaza superior.

c) Viga superior

Esta viga está directamente relacionada con la viga superior porta mordaza debido a la similitud de cargas, la diferencia entre ellas radica en que la sección transversal de donde se aplica la carga es mayor en la viga superior razón por la cual la optimización se deja para la viga porta mordaza superior como viga crítica.

Para el diseño de la misma se tuvo en cuenta la deformación de la viga como la máxima permitida, se tienen 3 variables;

- Longitud: Esta se tiene en cuenta el diámetro del sistema de potencia y el diámetro de las barras móviles.
- Alto y ancho: por medio del cálculo de la deformación se llega a una geometría rectangular donde se obtiene la deformación requerida.

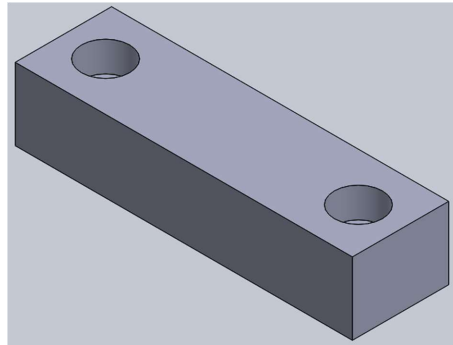


Figura 20. Viga superior.

La viga superior debe tener 60 mm de alto 280 mm de longitud y 80 mm de ancho, con lo que se realizó el cálculo de la deformación de 0,911 mm que se puede encontrar en el anexo A.

d) Viga base del sistema de potencia

La longitud de esta depende de la longitud de la viga porta mordaza superior ya que esta la debe contener permitiendo su movimiento, razón por la cual al momento de realizar la optimización de la viga porta mordaza superior se realiza la optimización de la viga base de sistema de potencia.

Para la longitud se debe contener en su interior las barras móviles y debe ser el soporte superior de las barras fijas, su ancho está determinado en este caso por el ancho del sistema de potencia que en este caso es de 165,1 mm, ahora, el largo fue determinado con 500 mm con lo cual es posible contener lo mencionado anteriormente, la altura fue determinada por la condición de deformación con lo que obtenemos una altura de 100 mm, una longitud de 500 mm y un ancho de 165,1 mm.

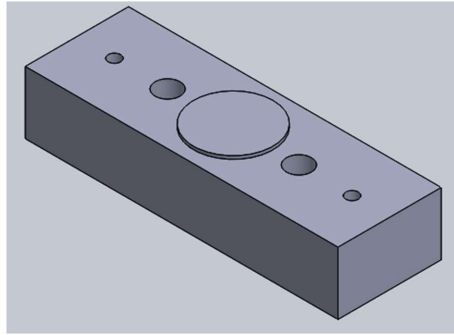


Figura 21. Viga base de sistema de potencia.

El cálculo de la deformación se encuentra en el anexo A.

e) Viga porta mordaza superior

En su diseño se establece como condición la deformación menor a 0,2 mm además se tuvo en cuenta que dentro del marco móvil (barras móviles, viga superior y viga porta mordaza superior) debe contener el sistema de potencia.

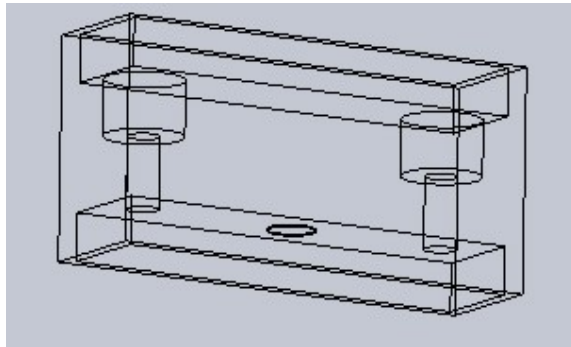


Figura 22. Viga porta mordaza superior.

Teniendo en cuenta las consideraciones anteriores se tiene 80 mm de alto, 100 mm de ancho y 280 mm de longitud, adicional para cumplir la restricción de deformación se utiliza un refuerzo estructural con la misma lamina en forma rectangular de la viga base con dimensiones 8 mm de espesor y 30 mm de altura, su respectivo cálculo se encuentra en el anexo A.

f) Viga base y porta mordaza inferior

Su longitud es la suma de la longitud de la viga porta mordaza superior más una holgura que permita el movimiento del marco superior y una distancia adicional para permitir el encaje de la barra fija.

Para la determinación geométrica se utiliza la misma que la viga base del sistema de potencia con la diferencia que debe tener el roscado del sistema de medición.

Las medidas de la viga para una deformación calculada de 0,8 mm son para la viga 500 mm de longitud, 165,1 mm de ancho y 55 mm de altura, para la estructura que eleva la máquina y permite el roscado se debe realizar una cerca de 8 mm de espesor con un perfil rectangular con 30 mm de altura, los cálculos de la deformación de la viga teórica se encuentran en el anexo A.

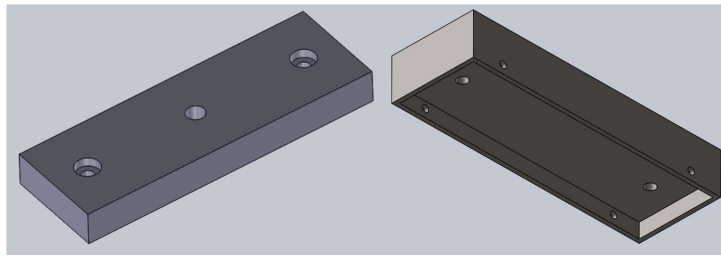


Figura 23. Viga base o porta mordaza inferior.

g) Barras móviles

Su longitud corresponde a la suma de: el grosor de la viga superior, la altura del sistema de potencia más el grosor de la viga base de sistema de potencia, el grosor de la estructura auxiliar de inercia de la viga base de sistema de potencia y el roscado en ambos extremos.

Para el cálculo de los diámetros se utiliza la deformación máxima permitida con un resultado de una longitud de 683 mm y un diámetro de 50 mm (calculado disponible en el anexo A).



Figura 24. Barras móviles.

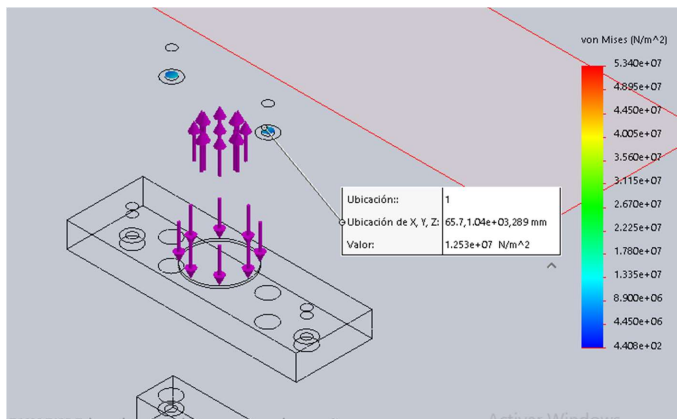


Figura 25. Simulación del valor del esfuerzo presente en las barras móviles para el cálculo de la rosca.

Para la verificación de la rosca se utiliza el resultado de la simulación anterior donde se determina el esfuerzo presente en la rosca, este esfuerzo es ocasionado por un momento

que a su vez es provocado por la deformación de la misma viga, utilizando este esfuerzo se procede a verificar el área de esfuerzo por tensión según el tipo de rosca determinado en 20 mm, con este resultado se determina si la rosca soporta la carga determinada asumiendo un material A36 el cual posee una resistencia de fluencia de 250 MPa.

El área de tensión según la referencia [4] es de $244,79 \text{ mm}^2$ y una fuerza de 3936,415 N (valor obtenido despejado de la simulación) con lo que se tiene un esfuerzo de 16 MPa, con lo que se verifica su funcionalidad y los respectivos cálculos se pueden apreciar en el apéndice A.

h) Bujes

Para la selección de los bujes se escogen unos bujes de material bronce, ya que el material de bronce posee menores propiedades que las barras de AISI 1045 por lo que la pieza de sustitución serán los bujes, estos generan un mejor comportamiento frente a las gomas ya que las gomas permiten una mayor deformación lo que generara una mayor magnitud de esfuerzos.

i) Barras fijas

Su longitud es la sumatoria de el grosor de la viga base del sistema de potencia y la viga base más la estructura auxiliar de la viga base del sistema de potencia más la carrera del cilindro del sistema de potencia más el grosor de viga porta mordaza superior más la longitud de la mordaza libre más la longitud de las dos mordazas.

Su geometría está determinada por la distancia entre las vigas base y base del sistema de potencia para cerrar el marco fijo, lo cual determina una longitud de 983 mm y su diámetro fue determinado a partir de la deformación máxima, con lo que se obtuvo un diámetro de 60 mm (calculado disponible en el apéndice A).

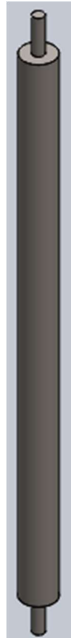


Figura 26. Barras fijas.

j) Sistema de sujeción de barras fijas

Las dos opciones poseen una solución óptima para su función, la elección fue realizada pensando en el mantenimiento y en un posible daño, el sistema seleccionado fue un encaje sobre la viga base de sistema de potencia y viga superior donde reposa la barra, la cual poseen un roscado donde se debe instalar una tuerca con arandela en sus extremos.

Para el cálculo de la rosca y el diámetro se definieron igual que las barras móviles, esto debido a que como se puede observar en la simulación.

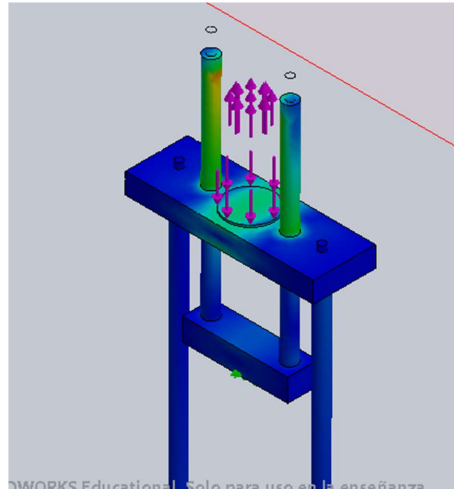


Figura 27. Simulación de esfuerzos en barras móviles y fijas.

k) Sistema de sujeción de base

Al no tener influencia las fuerzas presentes dentro de la estructura en su base, se debe tener en cuenta un sistema de sujeción que permita la prevención del volcamiento de la máquina, con un sistema de ángulos de 90 grados y sus respectivos pernos en cada extremo lo cual asegura la estabilidad de la máquina.

Además, se debe realizar un levantamiento debido a que en la parte inferior se encuentra el sistema de sujeción de las barras fijas compuesto por una rosca.

En el montaje de la maquina es primordial seguir los pasos iniciales de armado, el primer paso debe ser realizar el ajuste de la viga base con las barras fijas y a continuación se realiza el montaje de la base con la mesa de trabajo donde se ubicará la máquina, en la figura 22 se observa el sistema de sujeción de la máquina.

A partir del diseño detallado se obtiene la siguiente geometría.

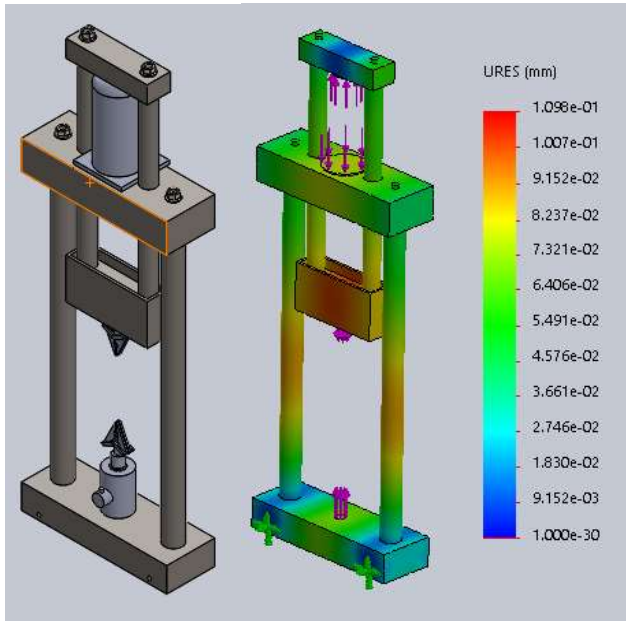


Figura 28. a) Ensamblaje con sistemas de sujeción, medición y potencia, b) simulación de la deformación de la estructura.

Comentado [JAUT1]:

Como se puede observar en el diseño detallado final se tienen unas deformaciones menores a 0,2 mm como requerimiento de diseño, con la validación geométrica y funcional se logró construir una tabla con cada uno de los componentes en detalles y dar solución a los requerimientos tanto geométricos como funcionales, esto en pocas palabras da la suficiente confiabilidad de que es posible la utilización de la maquina dentro de los límites establecidos.

Con la creación de los factores de seguridad se garantiza la utilización de componentes dependientes (sistema de potencia, medición y sujeción), la maquina es apta para su operación utilizando varillas de acero corrugado A36 (resistencia a la fluencia de 585 MPa, con diámetros de 4 a 8 mm).

3.2. Materiales

3.2.1. Ranqueo de materiales

Para el ranqueo de materiales se hará uso de los índices con exponentes, los cuales les darán importancia a ciertas variables con lo que se pretende dar prioridad de acuerdo al tipo de restricción, esto con el fin de realizar un ranqueo ya más riguroso.

Índice	Carburo de silicio	Aceros inoxidables	Óxidos de aluminio	Acero al carbono
E/C_v	45	222.222	100	166.666
$E/p^{1/2}$	259,8	70,71	155,96	70,71
$E^{1/2}/C_v p^{1/2}$	1.224	0.555	3	41.666

Tabla 8. Valor del índice de acuerdo al material.

El cálculo de los índices fue tomado de acuerdo a las tablas y puede observarse en el anexo A.

Como se puede apreciar en la tabla 7 de una vez es descartado el óxido de aluminio, esto debido a que en ninguno de los índices obtiene el mayor puntaje, además se verifican los usos que se le dan al óxido de aluminio donde según la referencia [24] es un cerámico refractario de alta dureza, en los procesos de obtención ya sean naturales o artificiales se tiene polvo, el cual puede ser comprimido con aglutinante para conformar estructuras porosas que son utilizadas como herramientas para el desgaste, está siendo la forma más parecida a la requerida, razón por la cual se verifica que la forma del óxido de aluminio no es la adecuada para la aplicación.

Para el caso del carburo de silicio que a pesar de sus excelentes propiedades (material muy duro, usado como desbaste), el costo de producción del material es demasiado alto, conclusión a la que se llegó a partir de la figura 7 donde se extrae una tabla de costo de los materiales siendo este el más alto dentro de los materiales posibles, según la referencia [25] el carburo de silicio tiene una desventaja en temperaturas inferiores a 1200 °C ya que se encuentra en una zona activa lo que causa una oxidación mayor, sin llegar a ser un material pasivable, el material a partir de los 1200 °C empieza a comportarse como material pasivable, de aquí parte la mayoría de los usos como material refractario, razones por las cuales es descartado ya que se tiene un material con una alta tasa de oxidación con el costo más alto dentro de los materiales.

Teniendo en cuenta el resultado se tiene acero inoxidable y acero al carbono, como se puede observar en la tabla 7 y teniendo en cuenta que el precio debe ser analizado por unidad de masa y no por unidad de volumen, también que el segundo índice se tiene la misma magnitud, para el tercer índice es notable diferencia en cuanto a la ventaja del acero al carbono desde un punto de vista económico y teniendo en cuenta la restricción principal y además no negociable de la deformación, debido a la necesidad de una soldadura se tiene la referencia [26] donde se hace explícita la ventaja en cuanto a la soldabilidad del acero al carbono con el acero inoxidable debido al coeficiente de expansión del acero inoxidable que es superior gracias a la propiedades de mantener el calor, creando tensiones dentro de la soldadura que luego generaran fracturas.

Como parámetro no negociable se tiene la deformación que esta inversamente relacionada con la deformación del material, es decir se necesita un mayor módulo de elasticidad para que la deformación del material sea menor, es por esto con ayuda de la referencia [27] en donde se realiza una comparación de los módulos de elasticidad se llega a la conclusión de que los acero inoxidable presentan una curva esfuerzo deformación con forma redondeada sin límite elástico definido por ello

su comportamiento ante un impacto es mayor y su ductilidad es mucho mejor que la de los aceros al carbono, para el módulo elástico es mayor en el caso de los aceros al carbono.

A partir del tercer índice se verifica con la referencia [28] donde se habla acerca del proceso de producción y se establecen las ventajas que tiene para diversas aplicaciones y donde se especifica su diferencia en cuanto al costo de producción ya que la propiedad en cuanto a la corrosión se debe a la adición principalmente de cromo y níquel lo cual hace que el proceso sea mucho más costoso que el del acero al carbono.

Teniendo en cuenta principalmente el aumento de costo según la referencia [27], la tabla [7] y la figura [7] los costos del acero inoxidable son más altos, con la referencia se evidencia la ventaja en cuanto a la deformación que tiene el acero al carbono y por último la soldabilidad de un acero al carbono es mejor como se pudo observar en la referencia [26]

3.2.2. Documentación de materiales

Teniendo aceros al carbono se tienen infinitas de materiales por lo que se parte de una estrategia donde lo que se busca es terminar la selección de materiales partiendo de lo que se tiene disponible, es decir se piensa primero con que materiales se cuenta y partir de esos materiales se define el material a utilizar para cada pieza.

En la búsqueda de los materiales teniendo en cuenta la forma y que sean aceros al carbono a partir de las referencias [14], [15], [16], [17], [18] y [19], las cuales son empresas que se encuentran en el mercado en Colombia y contienen el material de la forma solicitada se obtiene:

SAE 1045, A36, A1020, A4140.

Dentro del proceso de documentación se busca obtener obviamente la ventaja de cada material, pero en este punto de la selección lo que se busca es la desventaja por la cual el material no es viable.

Con respecto al material A36 primero según las referencias comerciales podemos observar una tendencia a su fabricación como barras rectangulares o cuadradas, a partir de las referencias [20] y [21] se verifica el correcto comportamiento de los materiales ante el fenómeno de corrosión en cuanto a los materiales A36 Y AISI 1045, adicional se debe tener en cuenta el acabado superficial ya que las vigas están sometidas a fatiga y según la referencia [21] la rugosidad superficial tiene gran importancia en cuanto a dicha propiedad física.

En cuanto al acero A36 preseleccionado como el material para las vigas se encuentra que el proceso de producción para el mismo puede ser realizando la unión de barras cuadradas por medio de soldadura y se verifica una influencia dentro de las propiedades mecánicas volviendo en la zona afectada por el calor mucho más frágil y esto puede ser observado dentro de la referencia [22]

En la referencia [23] se muestra la importancia o los efectos que tienen sobre las propiedades mecánicas las temperaturas a las cuales se eleva el material para realizar el tratamiento térmico, en el caso de la referencia para el acero AISI 1045.

Se realiza el descarte del material AISI 1020 debido a la comparación con el material AISI 1045 comparando los requerimientos no negociables, que es el módulo de elasticidad, como se puede

observar en la referencia [24] donde se realiza la comparación de los materiales podemos evidenciar como el material AISI 1020 no cuenta con la suficiente magnitud por parte del módulo de elasticidad, atributo que tiene el AISI 1045 que cuenta según el artículo con aproximadamente 206 GPa.

El material AISI 4140 debe ser descartado debido a su alto costo al ser un material especial donde, las empresas dentro del mercado local permiten su fabricación únicamente como una colada especial siendo este un producto no comercial, lo que genera unos sobrecostos que verán afectado el proyecto, esto se puede verificar con las referencias [14], [15], [16], [17], [18] y [19].

Con lo anterior se puede concluir que realizando un análisis del mercado local de los materiales disponibles se tienen AISI 1045 y A36, utilizando las formas comerciales para su producción, para el acero A36 lo encontramos fácilmente en barra cilíndrica, cuadrada o rectangular, por otra parte para el acero AISI 1045 se encuentra más fácilmente como barra cilíndrica, por lo que se determina que el material de las vigas debe ser acero A36 y para las barras AISI1045.

3.3. Proceso de producción

El detalle de la selección del proceso de producción para la viga se determina con la referencia [8], Donde se sugiere como primera medida mantener el estándar, es decir económicamente hablando es mucho más viable comprar una pieza que una persona ya realizó una inversión para producir un lote además de un estudio económico del producto a tener que producir en nuestro caso 11 piezas iguales, razón por la cual se toma la decisión de realizar la compra del material por secciones, para a continuación soldarlo a utilizar un proceso y tener que realizar una inversión adicional para el proyecto, esto en caso de no conseguir las vigas en el espesor requerido.

Para la producción de la maquina es necesaria la combinación de dos procesos ya que la viga aparte de ser un prisma, esta tiene orificios por los cuales se ajustan o pasan las barras fijas o móviles respectivamente.

Para el método de forjado la inversión de la prensa es bastante costosa, es el método menos estándar dentro del lote requerido, por lo cual es la primera opción a descartar.

Con fin de mantener el estándar se realizan cotizaciones ver anexo B del producto donde se evidencia el método de corte por chorro de agua el cual asemejamos con corte con abrasivo, que fue el resultado del proceso de selección, además siguiendo la referencia [8], se toma la decisión de comprar el material en láminas de 2 ½ pulg a 3 pulg, con el fin de realizar el corte de la base y completar la altura con un nuevo corte como se observa en la siguiente figura.

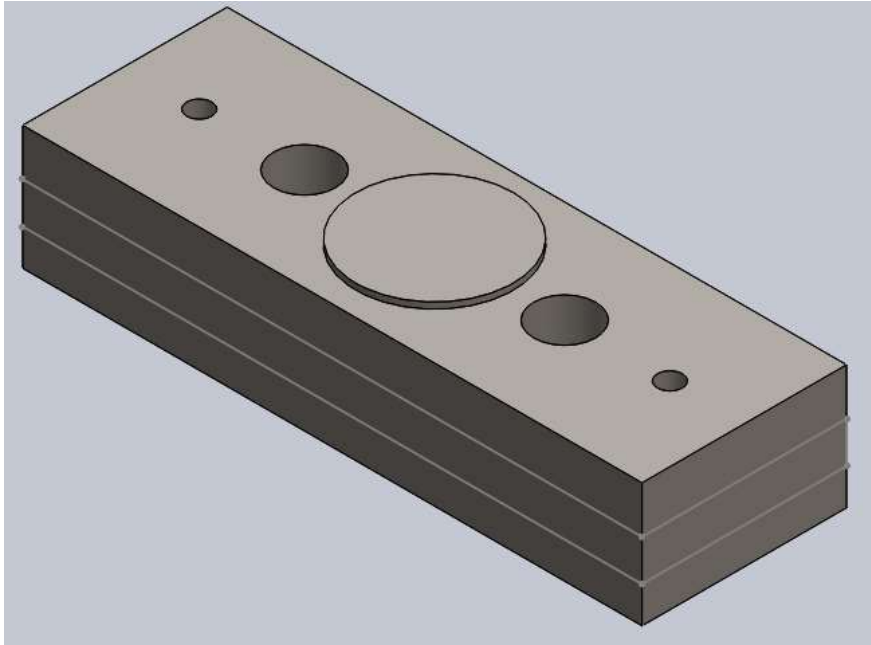


Figura xx. Forma de la viga.

A continuación se termina la forma por medio de un proceso combinado con soldadura y maquinado convencional para la unión de las secciones y los orificios.

3.4. Sistema de potencia

Teniendo en cuenta las consideraciones anteriores se llegó a la conclusión de un actuador de tipo hidráulico ya que de acuerdo a requisitos de diseño debe realizar 60 KN por lo que el más apto para esto es de este tipo además de su menor costo comparado con servomotor y su capacidad de mantener la carga constante alta, gracias a poder almacenar mayores presiones lo que se verá reflejado en una fuerza transmisible y controlable.

Se realiza la selección del siguiente cilindro a partir de los requerimientos establecidos:

Cilindro marca NERPAC GBJ050A, 55 toneladas Capacidad, 5.51 pulg Carrera, Gato hidráulico de alto tonelaje.



Figura 29. Cilindro hidráulico de sistema de potencia.

Capítulo 4. Validación financiera de costos

Dentro del marco del proyecto se define como mercado local el mercado actual en Bogotá, por lo que para la validación financiera las cotizaciones disponibles en el anexo B pertenecen a cotización realizadas en el barrio Ricaurte, Bogotá D.C.

Se cotiza la materia prima, la mano de obra para el proceso de formado y terminado.

- **Materia prima**

Para la materia prima se realiza la cotización basándose en las medidas obtenidas del proceso de diseño, como las medidas obtenidas no son medidas comerciales estas se ajustaron a las medidas disponibles en el mercado, Se cotiza en tres ferreterías importantes del sector Hierros el dorado, laminas y cortes bogota s.a.s. y ferreteria américa, se obtienen los siguientes valores:

MATERIAL	Ferretería América	Laminas y cortes Bogotá s.a.s.	Hierros el dorado	Hierros y tubos H.S.	ALEDA	7777777	Mejor precio
Lamina A36 280 x 80 (2-1/2")	\$ 50.000	\$ 50.000	\$ 49.001	-			\$ 49.001
Lamina A36 500 x 166 (2-1/2")	\$ 190.000	\$ 193.000	\$ 183.001	-			\$ 183.001
Lamina A36 500 x 166 (4")	\$ 310.000	\$ 339.150	\$ 327.000	-			\$ 310.000
Lamina A36 100 x 280 (4")	\$ 100.000	\$ 112.000	\$ 108.000	-			\$ 100.000
Platina A36 1-1/2" x 2/8 x 2m	\$ 30.000	-	\$ 22.001	\$ 24.000			\$ 22.001
Barra AISI 1045 diam2" X	-	-	\$ 116.000	\$ 130.500			\$ 116.000

Barra AISI 1045 diam2- 1/2" X	-	-	-	\$ 133.000		\$ 133.000
Bujes Bronce SAE 65				\$ 300.000		\$ 300.000
Roscas					\$ 800	\$ 6.400

TOTAL materia prima	\$ 1.219.403
---------------------------	-----------------

Tabla 9. Validación financiera de materia prima.

Como se puede observar el costo total de los materiales con iva es de \$ 1'219.403, como mínimo dentro de las empresas cotizadas.

Para el proceso de formado se cotiza el mecanizado de las vigas, las barras y los bujes, se tienen dos cotizaciones SERMEG HERRAJES y ALEDA S.A.S., el precio aportado por la empresa es el precio con el ensamble y el terminado acordado, sin pintura, para el proceso de soldadura se tiene una cotización en Hnos Torres S.A.S.

MATERIAL	ALEDA	SERMEG	HNOS TORRES S.A.S.	Mejor precio
Mecanizado Placas 2- 1/2"	\$ 350.000	\$ 350.000		\$ 350.000
Mecanizado Placas 4"	\$ 400.000	\$ 450.000		\$ 400.000
Mecanizado de ejes	\$ 600.000	\$ 800.000		\$ 600.000
Mecanizado de bujes	\$ 300.000	\$ 300.000		\$ 300.000
Soldadura			\$400.000	\$400.000

TOTAL mano de obra +iva	\$ 2'213.500
----------------------------	-----------------

Tabla 10. Validación financiera de mano de obra.

El costo para la producción de la estructura de una maquina es de \$3'432.903 teniendo en cuenta el mercado local denominado como Bogotá, Colombia para el 27 de enero de 2020.

Capítulo 5. Conclusiones

Dentro del diseño de la maquina se evidencia la dependencia por parte de los sistemas de potencia y medición, donde se puede utilizar el documento para realizar un diseño con los sistemas disponibles, sin dejar atada la geometría a ningún fabricante ni geometría contemplada.

El diseño de la maquina fue netamente para la obtención del esfuerzo máximo por parte de las varillas por lo que se puede llegar a omitir bastantes aspectos con respecto a la deformación de los materiales que generaría un error en la medición de la deformación de la probeta, lo que si se debe seleccionar de forma bastante rigurosa es el sistema de control ya que la velocidad de la maquina es demasiado importante en cuanto a tiempo y el comportamiento del material a fallar o incluso los materiales de la máquina, por lo que se recomienda utilizar una maquina patrón para la verificación de la velocidad máxima a la cual se puede configurar la máquina.

Para llegar a economizar gastos en la fabricación se debe realizar una comparación entre el costo del mecanizado y realizar ajustes en el diseño para reducir el mecanizado de las piezas, como se pudo observar las roscas en diseño son de 20 mm pero a la hora de planos de fabricación quedaron de 30 mm, ya que es más económico comprar una tuerca M30 que mecanizar 10 mm más el eje AISI 1045.

Anexo A. Memoria de cálculos.

- Valores de los índices obtenidos a partir de las tablas en la referencia [8]

Índice	Carburo de silicio	Aceros inoxidables	Óxidos de aluminio	Acero al carbono
E/Cv	450 /10	200 /9	300 /3	200/1,2
$E/\rho^{1/2}$	$450 /3^{1/2}$	$200 /8^{1/2}$	$300 /3,7^{1/2}$	$200 /8^{1/2}$
$E^{1/2}/Cv\rho^{1/2}$	$(450^{1/2})/(10*3^{1/2})$	$(200^{1/2})/(9*8^{1/2})$	$(300^{1/2})/(3*3,7^{1/2})$	$(200^{1/2})/(1,2*8^{1/2})$

- Cálculo de las roscas de las barras móviles

Primero se determina la fuerza ocasionada por la deflexión de las vigas a partir de la sección transversal, a continuación, se determina el esfuerzo al que estará sometida la rosca y con el área de tensión de la rosca total se determina el esfuerzo al que estará sometida la rosca.

$$F = \sigma * A_t = 1,253 \times 10^7 \frac{N}{m^2} * \frac{\pi * (0,02)^2}{4} m^2 = 3936,415 N$$

$$\sigma_t = \frac{F}{A_t} = \frac{3936,415 N}{244,79 mm^2} = 16,08 MPa$$

- Deformación viga superior

$$y = \frac{60000 N * (210 \times 10^{-3}) m}{48 * 200 \times 10^9 Pa * \frac{0,08 * 0,06^3}{12} m^4} = 9,11 \times 10^{-4} = 0,911 mm$$

- Deformación viga soporte de sistema de potencia

$$y = \frac{60000 N * 0,38 m}{48 * 200 \times 10^9 * \frac{0,1651 * 0,01^3}{12}} = 0,17 mm$$

- Deformación viga porta mordaza superior

$$A_1 = 0,1 * 0,08 = 0,008 m^2$$

$$A_2 = A_3 = 0,03 * 0,008 = 0,00024 m^2$$

$$I_T = I_{x1} + I_{x2} + I_{x3} + I_{x4} + I_{x5}$$

$$I_{x1} = \frac{0,01651 * 0,055^3}{12} = 0,000004 m^4$$

$$I_{x2} = I_{x3} = I_{x4} = I_{x5}$$

$$= \frac{0,008 * 0,03^3}{12} + 0,008 * 0,03 * \left(\frac{0,08}{2} + \frac{0,03}{2} \right)^2 = 7,44 \times 10^{-7} m^4$$

$$I_T = 0,00007 m^4$$

$$y = \frac{60000 * 0,321}{48 * 200 \times 10^9 * 0,00007} = 0,2 mm$$

- Deformación viga base

$$A_1 = 0,01651 * 0,055 = 0,009081 m^2$$

$$A_2 = A_3 = 0,03 * 0,008 = 0,00024 m^2$$

$$y_1 = 0,0575 m$$

$$y_3 = y_2 = 0,0575 m$$

$$y_1 A_1 = 0,000522$$

$$y_3 A_3 = y_2 A_2 = 0,000004$$

$$\bar{y} = \frac{0,000529}{0,009321} = 0,056792 \text{ m}$$

$$I_T = I_{x1} + I_{x2} + I_{x3}$$

$$I_{x1} = \frac{0,01651 * 0,055^3}{12} + 0,1651 * 0,055 * (0,0575 - 0,056792)^2$$

$$= 2,29359 \times 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$I_{x2} = I_{x3} = \frac{0,08 * 0,03^3}{12} + 0,008 * 0,03 * (0,041792)^2 = 4,37177 \times 10^{-7} \text{ m}^4$$

$$I_T = 2,730767 \times 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$y = \frac{60000 \text{ N} * 0,38 \text{ m}}{48 * 200 \times 10^9 * 2,730767 \times 10^{-6}} = 0,86972 \text{ mm}$$

- Diámetro barras móviles


$$D = \sqrt{\frac{4 * 60000 * 0,68336}{\pi * 0,0001 * 206 \times 10^9}} = 0,050 \text{ m} = 50 \text{ mm}$$

- Diámetro barras fijas

$$D = \sqrt{\frac{4 * 60000 * 0,983}{\pi * 0,0001 * 206 \times 10^9}} = 0,060 \text{ m} = 60 \text{ mm}$$

Anexo B. Nombrar el anexo B de acuerdo con su contenido

- Cotizaciones de materia prima



Ferretería América
Gómez y Cia. S.A.S.
IMPORTADORES Y DISTRIBUIDORES DE ACEROS

NT 800 034 218-4 - REGIMEN COMUN
TARIFA ICA 8 X 1000 ACT ECONOMICA - 6241

LAMINA HR - CR - ALFAJOR
ANTIDESGASTE - CANALES
VIGAS I P E - H E A - ANGULOS
PLATINAS - TUBERIA - VARILLAS
NACIONAL E IMPORTADA
DOBLADORA - CORTADORA 5/8
ENROLLADORA

Fecha: Bogotá Enero 27/2020 COTIZACION
 Señor(es): David Mejia PEDIDO N° **0020**
 Dirección: _____ Tel: _____ REMISION
 Forma de pago: _____ Validez: _____ Entrega: _____ F.O.B. _____

CANTIDAD	DESCRIPCION DEL ARTICULO	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
7	28 X 8cm X 2-1/2"	50.000	50.000
7	50 X 76.6cm X 2-1/2"	790.000	790.000
7	50 X 76.6cm X 4"	370.000	370.000
7	70 X 28 X 4"	700.000	700.000
7	platina 7-1/2" X 3/8" X 2H f	30.000	30.000
			680.000

VENDEDOR: Dora OBSERVACIONES: _____
 CUENTE: _____ FERRETERIA AMERICA

Carrera 29 No. 7-96/87 Tels: 247 0078 - 360 5777 - 360 0257 - - Telefax: 237 4080 - Bogotá, D.C.
 Calle 7 No. 27-51 Bodega 3 PBX: 360 0538 Tels: 360 2960 - 360 8885 E-mail: ferreteriaamerica@hotmail.com

láminas y cortes bogotá s.a.s
 "Procesos especializados que transforman y agragan valor al acero"
 Nit: 800162648-9

Nuestras Sedes:
Cra 39 N° 7-80 y Calle 8 N° 28-69 (Banco Ricuarte), Cra 123 N° 14C-11 (Banco Feniñón - Ricordi)
PBX: 2813785-2813707-2477028 - 320059018 Fax: (57-1) 2476228
Bogotá D.C.
www.laminasy cortes bogota.com

COTIZACION No. **5365**

CLIENTE: CLIENTES POR COMITRADOR
 CONTACTO: _____
 NIT: 22222222 ? CIUDAD: Bogotá D.C.
 DIRECCION: Cra 29 7 82
 TELEFONO: 3213388
 FECHA DOCUMENTO: 27-ene-20

VENDEDOR: LUIS EDUARDO AGUILAR HERNANDEZ
 TIEMPO DE ENTREGA: _____
 FORMA DE PAGO: Contado
 LUGAR DE ENTREGA: _____
 COMPLEX N°: _____
 VALIDEZ OFERTA: _____

Item	Q	Descripción	Nota	U/M	Valor Unitario	Total
1	1	LAM A36 C 4" (100mm)	500 X 158 mm	mts	\$ 280.714	\$ 280.714
2	1	LAM A36 C 4" (100mm)	100 X 250 mm	mts	\$ 94.116	\$ 94.116
3	1	LAM A36 C 2 1/2" (63mm)	280 X 90 mm	mts	\$ 42.017	\$ 42.017
4	1	LAM A36 C 2 1/2" (63mm)	500 X 158 mm	mts	\$ 182.165	\$ 182.165

Observaciones: _____

SUBTOTAL	\$ 586.034
DESCUENTO	\$ 0
IVA (19%)	\$ 110.966
TOTAL	\$ 697.000

Asesor: LUIS EDUARDO AGUILAR HERNANDEZ
2105583109

Cuentas Bancarias láminas y cortes bogota s.a.s
 Bancolombia Cuenta Corriente N° 25186548371
 Banco Davivienda Cuenta Corriente N° 006609030285
 Banco de Bogotá Cuenta Corriente N° 037287757
 Banca BBVA Cuenta Corriente N° 32600130126640100038308

MATERIAL DECLARADO EN ABANDONO. Pasado 90 días calendario a partir de la fecha anterior para la devolución de las láminas el material propiedad del cliente suministrado para servicios. Láminas y Cortes Bogotá s.a.s no se hace responsable por la custodia del material o de las partes y, de acuerdo con el artículo 18 de la ley 1480 de 2011, se da por entendido que el cliente ha abandonado. Declara conocer y aceptar las condiciones y riesgos del servicio sobre el material o piezas entregadas.

HIERROS EL DORADO
 IVA REGIMEN COMÚN
 Autorretenedores RES. 000979 del 13/02/2015
 NO EFECTUAR RETE ICA SOMOS GRANDES CONTRIBUYENTES
 SMO RES. 001-942968 DEL 13/10/2017

MIT: 820153377-4
 DE: 0120 # 34 TEL: 2019719

BOGOTÁ, D.C., lunes, 27 de enero de 2020

CTC-20017475

Señor:
DAVID MEJIA
 CL 151 D 143 03
 BOGOTÁ, D.C.

Asunto: Cotización al cliente 27-01-2020

CODIGO	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	FEED	VALOR UNIT.	DECTO.	VALOR TOTAL	
0903111	1045 RED DE 2"	1,19 MT	18,921	\$ 81.915		\$ 97.479	
0804219	1 TRAMO DE 1.18.3 CMS LAMPAA H.R. 2.1/2" X N.L.S	11,2 KG	0	\$ 3.677		\$ 41.177	
0804319	1 PLACA DE 28 CMS POR 8 CMS LAMPAA H.R. 3 1/2" X N.L.S	42,5 KG	0	\$ 3.518		\$ 155.782	
0804022	1 PLACA DE 80 CMS POR 16 CMS LAMPAA H.R. 4" X N.L.S	88 KG	0	\$ 4.041		\$ 374.790	
0804022	1 PLACA DE 80 CMS POR 16 CMS LAMPAA H.R. 4" X N.L.S	27,4 KG	0	\$ 4.082		\$ 111.848	
0001902	1 PLACA DE 10 CMS POR 28 CMS PLATINA HR 28 X 1 1/2	2 MT	3.558	\$ 5.244		\$ 10.488	
						PARCIAL	\$ 978.472
						DESCUENTO	\$ 128.620
						IVA	\$ 128.620
						TOTAL	\$ 978.472

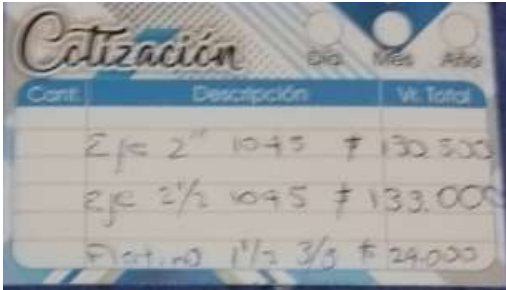
VALIDEZ DE LA COTIZACIÓN
 Validez de la oferta: 2 días
 Fecha en que caduca: 29/01/2020

Atentamente,
AORIANA ESPERANZA BONILLA CONTRERAS
 Teléfono: 3119796504
 Cel./Móvil: 3119796504
 Email: aebonilla@hierroseldorado.com

HIERROS Y TUBOS H.S. LTDA

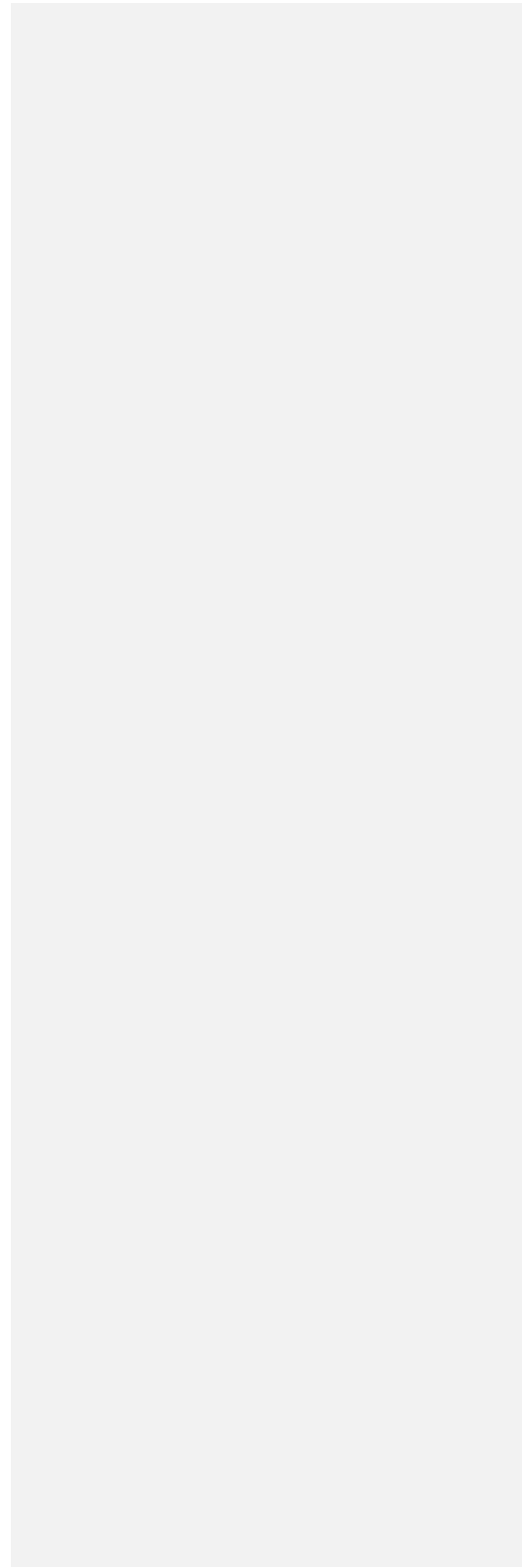
FABIAN SALDAÑA
 Cel. 300 486 68 30

Calle 8 # 28-84 - Tel. 2778004
 hierrosytubos@hotmail.com
 hierrosytuboshs@gmail.com



Cotización			Dia	Mes	Año
Cont.	Descripción	Vt. Total			
2pc	2" 1045	130.500			
2pc	2 1/2 1045	133.000			
Platino	1 1/2 3/3	24.000			

- Cotizaciones de mano de obra



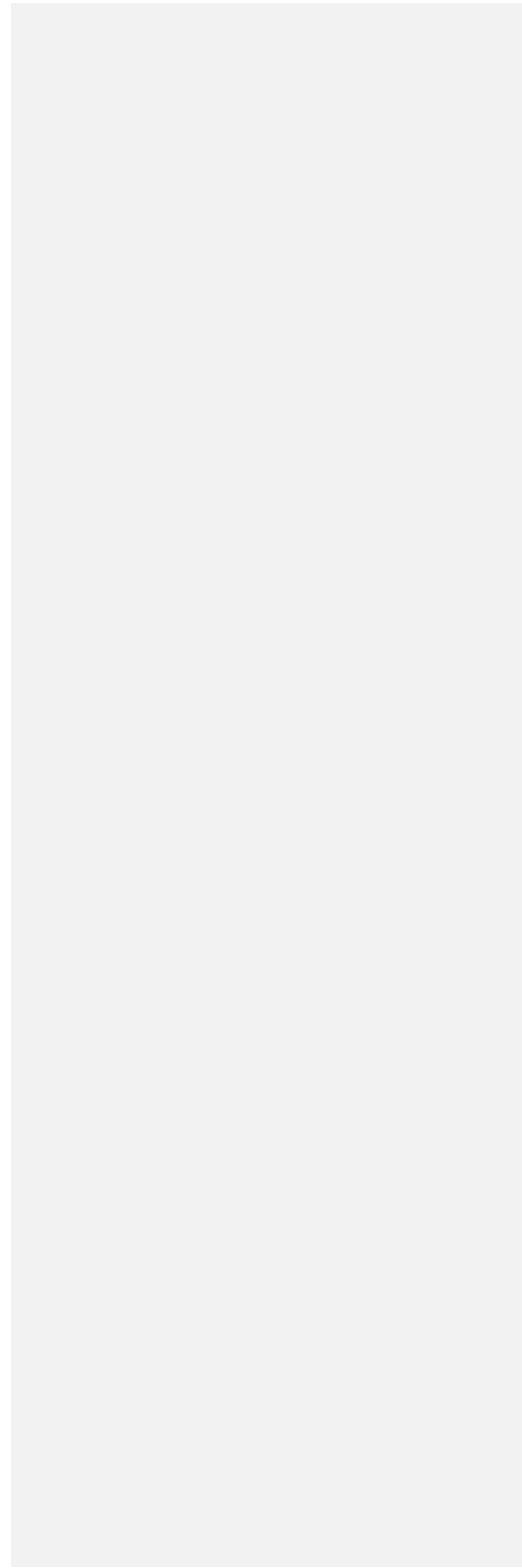
SERMEG
HERRAJES
SERVICIO DE MECANIZADOS

Torno • Fresa • Soldaduras Especiales
Fabricación de piezas para maquinaria industrial
Repuestos en acero inoxidable para la industria alimenticia
Herrajería en acero inoxidable

Ing. Freddy Vargas M.
Tel. 311 890 2516

Carrera 28 # 8 - 14 Ricardo
Teléfono: 492 0243
sermeg77@hotmail.com

POR CONCEPTO DE		
Mecanizado	2-1/2"	\$350.000
"	4"	\$450.000
"	barra 1045	\$800.000
"	bujes	\$300.000



CUENTA DE COBRO REMISIÓN RECIBO DE PAGO PEDIDO

VENDEDOR DAVID MEJIA
 DIRECCIÓN CALLE 101 D# 133-03
 CIUDAD Bogotá
 TELÉFONO 320 3448675
 FECHA 23/01/2020
 VENDEDOR Armando Riquelme

CANT.	DESCRIPCIÓN	PRECIO	VALOR
2	Mecanizado de Placas pequeñas de 2 1/2"	175,000	350,000
2	Mecanizado de Placas grandes de 4"	200,000	400,000
4	Mecanizado de Ejes según planos	150,000	600,000
2	Fabricación de Bujes en Bronce SAE 63, con Mecanizado DIAS HABLES	300,000	600,000
	50% Inacio	1950,000	370,500
	50% Contraentrega	21320,500	

Bibliografía

- [1] J.Durango, E. Herrera y N. Otero, «Design, construction and validation of a machine prototype for testing strength of materials, »2015 .
- [2] Almasa, «Catalogo de varillas corrugadas,»2018
- [3] ASTM E-8
- [4] R. Norton, «Diseño de maquinas,» 4ta Ed,2015 .
- [5] Visto en:
http://platea.pntic.mec.es/vgonzale/cyr_0204/cyr_01/robotica/sistema/actuadores.htm,
3/10/2019.
- [6] ASTM E-8
- [7] T. Tomiyama, P.Gu, y.Jin, D. Lutters, Ch. Kind, F.Kimura, «Design methodologies: Industrial and educational applications, »2009
- ASHBY, M.; SHERCLIFF, H. y CEBON, D. (2014) Materials: engineering, science,
[8] processing and design. 3ra Edición, Elsevier, Butterworth-Heinemann (BH).
- [9] <https://www.monografias.com/trabajos105/modelacion-pilotes-aislados-carga-horizontal/modelacion-pilotes-aislados-carga-horizontal.shtml>
- [10] V. Borja, M. Lopez, S.D. Santillan, L.A. Gonzalez«Estado del arte y tendencia sfuturas en ingenieria inversa, »1998
- [11] Bianda et al., 1991
- [12] <https://www.enerpac.com/es/gatos/gatos-hidr%C3%A1ulicos-para-trenes-de-ruedas/WJ60S>
- [13] http://www.forsentek.com/down/rod_end_load_cell_FLD.pdf
- [14] <https://coldeaceros.com/aceros-especiales/#1511901835066-fed4a831-813f> (venta de acero 1045 redondo)

- [15] https://www.villacero.com/images/pdf/esp/redondos_cuadrados.pdf (venta de perfiles cuadrados A36 y AISI 1045)
- [16] http://www.acerosotero.cl/pdf/catalogo_aceros_otero_2019.pdf (venta de los perfiles redondo y cuadrado A36 y AISI 1045)
- [17] http://www.cad-cae.com/PDF_CAD_CAE/Aceros_para_mecanizado.pdf (venta de los perfiles redondo y cuadrado A36 y AISI 1045)
- [18] <http://www.ferraceros.com.co/productos/> (aceros en Medellín)
- [19] <https://www.dimecol.co/aceros> (aceros Bogotá)
- [20] L. Gil, V. Maizo, O León, M. Martínez, F. Gonzales, L. D'Onofrio «Evaluacion de la resistencia a la corrosion atmosferica de los aceros A-588 y acero al carbono A36, »1997
- [21] L. Gil, V. Maizo, O León, M. Martínez, F. Gonzales, L. D'Onofrio «Evaluacion de la resistencia a la corrosion atmosferica de los aceros A-588 y acero al carbono A36, »1997
- [22] I. Chillcon, J. Celada «ENSAYO DESTRUCTIVO EN ACERO ESTRUCTURAL ASTM A36 PARA OPTIMIZAR LOS PARAMETROS DEL PROCESO DE SOLDADURA SMAW, »2017
- [23] C. Bohórquez « INFLUENCIA DEL TRATAMIENTO TÉRMICO DESDE TEMPERATURAS INTERCRÍTICAS EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL ACERO SAE 104, »2012.
- [24] F. Castro « Alúmina,» 2006.
- [25] M. Aparicio, A. Duran «Materiales compuestos C/SiC para aplicaciones estructurales ed alta temperatura y sistemas de proteccion contra la oxidacion,» 2011.
- [26] H. Roriguez «Soldadura de los aceros inoxidables austeniticos aleado al cromo-niquel, recomendaciones tecnologicas,» 2006
- [27] E. Dionicio «Aplicaciones de los aceros inoxidables,» 2006
- [28] Universidad de Cataluña «Acero inoxidable_Tesina,»