INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE CAJEME

“DISEÑO, MODELADO Y FABRICACIÓN DE UN ALIMENTADOR AUTOMÁTICO PARA UNA MÁQUINA DE CORTE DE TIPO SIERRA CINTA”

TESIS

PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRO EN INGENIERÍA MECATRÓNICA

ING. CÉSAR URIEL COTA CUÉN

DIRECTOR DEL PROYECTO

DR. JUAN JOSÉ DELFÍN VÁZQUEZ

CD. OBREGÓN, SON. OCTUBRE 2020

ITESCA Instituto Tecnológico Superior de Cajeme	**Dictamen de liberación y aprobación** **F02PSA16.02**

Fecha
20 de Junio del 2020

No. de Registro

Dr. José Efren Ruelas Ruiz.
Coordinador del Programa de la Maestría en *en Ing. En Mecatrónica*
PRESENTE

A través de este documento, me permito comunicarle que el alumno ***Ing. César Uriel Cota Cuén*** cuyo trabajo de innovación o tesis:

DISEÑO, MODELADO Y FABRICACIÓN DE UN ALIMENTADOR AUTOMÁTICO PARA UNA MÁQUINA DE CORTE DE TIPO SIERRA CINTA

Cumple satisfactoriamente con los Lineamientos para la Operación de Estudios de Posgrado en el Sistema Nacional de Educación Superior Tecnológica, por lo que ha sido aceptado para la obtención del grado:

Maestro en Ingeniería en Mecatrónica.

Sin más por el momento, quedo de Usted.

Dr. Juan José Delfín Vázquez — 20 de Junio del 2020

Nombre y Firma del Director de Tesis — **Fecha**

Director de Tesis

DICTAMEN DE ACEPTACION - COMISIÓN REVISORA

PRESIDENTE	Dr. Baldomero Lucero Velazquez **Nombre**	**Firma**	20 de Jun de 2020 **Fecha**
MIEMBRO 1	Dr. Juan Jose Delfin Vasquez **Nombre**	**Firma**	20 de Jun de 2020 **Fecha**
MIEMBRO 2	Dr. Jose Efren Ruelas Ruiz **Nombre**	**Firma**	20 de Jun de 2020 **Fecha**

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer primeramente a Dios por haberme permitido cumplir este objetivo tan importante.

Quiero mencionar a dos personas muy importantes para mí: mi hermano y mi tía, a quienes agradezco muchísimo por su amor incondicional, por siempre apoyarme, pero, sobre todo, por creer en mí.

Quiero agradecer a mi novia, por ser mi complemento, mi apoyo y mi motivación para ser mejor cada día. Agradezco por la paciencia y por todo el amor que me ha brindado a lo largo de mi preparación profesional.

Agradezco también a mi familia, que siempre han estado allí para lo que necesite, han estado en mis momentos más difíciles, pero también en mis más grandes alegrías. Todos ellos van dentro de mi corazón por siempre.

Quiero agradecer a mis profesores, por su compromiso y ética profesional. Quiero, además, hacer una mención especial a mi director de tesis, el Dr. Juan José Delfín Vázquez por apoyarme en este proyecto, pero sobre todo por ayudarme a crecer más allá de lo profesional, a crecer como persona.

Agradezco al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo económico brindado a lo largo de estos dos años de posgrado.

RESÚMEN

La producción automatizada es una solución integral de punta a punta: transparente, generadora de confianza y eficiente. Ésa es la promesa de la Automatización Industrial, un componente medular en cualquier compañía.

En el presente trabajo de tesis se desarrolla el proceso completo para fabricar e implementar un dispositivo de alimentación de material para una cortadora de tipo sierra de cinta automatizada de carácter profesional que satisfaga las necesidades de la empresa que la requiere.

Para desarrollar la propuesta de la máquina alimentadora se utilizó la metodología de diseño de ingeniería, la cual, aportó el conocimiento necesario para poder seleccionar la mejor propuesta de diseño para este proyecto. La propuesta final consta de 3 elementos principales, los cálculos de ingeniería, el modelado 3d con sus respectivas simulaciones y los planos de fabricación de la máquina alimentadora.

El modelo 3d consta de 4 componentes principales que se explican a continuación: la mesa de rodillos es el elemento donde se apoyará y deslizará el material virgen; El tope automático es otro de los componentes a utilizar, dicho componente se encargará de poner un límite de movimiento y, por tanto, de posición para la prensa de alimentación. La prensa mencionada previamente, realizará la tarea de sujetar y arrastrar el material hasta la posición de corte en la sierra cinta; Por último, pero no menos importante, el pistón motriz, el cual, se encargará de mover la prensa de alimentación por medio de la unión entre el vástago del cilindro hidráulico con el bloque central de la prensa.

Los resultados obtenidos muestran que la mejor opción para una máquina alimentadora de material es la presentada en este trabajo de tesis, la cual, tendrá un bajo costo, una resistencia mecánica elevada y correcta fiabilidad en la dinámica de operación. Esto le da a la empresa la seguridad para implementar esta máquina en su actual flujo de trabajo.

ABSTRACT

The automatized production is a complete integral solution: transparent, confidence generator and efficient. That is the industrial automation's promise, a medular component in every company.

The current thesis work develops the complete process of manufacture and implementation of an automatic feeding machine of metallic material for a tooth blade cutting machine which can be automated in a professional character that satisfices the necessities and requirements of the company.

To develop the feeding machine proposal, it was used the design engineering methodology which contributed by giving us the necessary knowledge to be enabled to select the best design proposal to this project. The final proposal is made up by 3 principal elements: the engineering calculations, the 3d model which includes its respective simulations and the manufacturing drawings of the feeding machine.

The 3d model consists of 4 main components that are explained below: the roller table is the element where the raw material will rest and slide; The automatic stop is another of the components to be used, this component will be in charge of setting a limit of movement and, therefore, of position for the feeding press. The previously mentioned press will perform the task of holding and dragging the material to the cutting position on the band saw; Last but not least, the driving piston, which will be in charge of moving the feeding press by means of the union between the hydraulic cylinder rod and the central block of the press.

The obtained results show that the best option for a feeding machine is that which is showed in this thesis work. It has a low cost, an elevated mechanical strength and correct reliability in operating dynamics. This gives the certain to the company to implement this machine in its current workflow.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS 2
RESÚMEN 3
ABSTRACT 4
CAPÍTULO I 11
INTRODUCCIÓN 11
1.1 Antecedentes 12
1.2 Planteamiento del problema 13
1.3 Justificación 13
1.4 Objetivo 13
1.4.1 Objetivo general 13
1.4.2 Objetivos específicos 13
1.5 Alcances y limitaciones 14
1.5.1. Alcances 14
1.5.2. Limitaciones 14
CAPÍTULO II 15
MARCO TEÓRICO 15
2.1 Automatización industrial 15
2.2 Procesos de corte de material 16
2.2.1 La sierra de cinta 16
2.3 Funcionamiento de la sierra cinta 20
2.4 Índice de corte 21
2.5 Clasificación de sierras cinta 22
2.6 Historia del PLC 23
2.7 PLC: definición y principales características 25
2.9 Características del PLC 28
2.10 Funcionamiento 28
2.11 Técnicas de automatización 29
2.11.1 Lógica cableada 30

2.11.2 Lógica programada 30
2.12 Tendencias 31
2.13 Etapas de diseño en ingeniería 32
2.14 La necesidad de mecanismos 34
2.15 Esfuerzo y deformación 36
2.15.1 Esfuerzo 36
2.15.2 Deformación unitaria 39
2.15.3 Ley de Hooke 39
2.15.4 Máxima tensión de von Mises 40
2.16 Diseño Asistido por Computadora CAD 41
CAPÍTULO III 43
DESARROLLO 43
3.1 Conceptualización 44
3.2 Diseño mecánico 44
3.2.1 Selección del tipo de alimentador 45
3.2.2 Selección de materiales 46
3.2.3 Selección de los elementos principales del alimentador 48
3.2.3.1 Pistón hidráulico 48
3.2.3.2 Sistema de tope para posicionamiento automático 50
3.2.4 Propuesta 3d inicial 53
3.2.5 Simulaciones 56
3.2.5.1 Von Mises 56
3.2.5.2 Desplazamientos 57
3.2.5.3 Ensamblaje principal 58
3.3 Control y automatización 58
3.3.1 Pre-selección de PLC 59
3.3.2. Encoder lineal 59
3.4 Correcciones y modificaciones de diseño 60
3.5 Diagrama de flujo de funcionamiento 62
3.6 Tablas de verdad 63
3.7 Diagrama de funcionamiento simulado en Fluid Sim 63
3.7.1 Simulación de sistema de hidráulico y eléctrico 63
3.7.2 Sistema de prensa sujetadora de material acoplada a transportador 64

3.7.3. Sistema prensa sujetadora de material acoplada a sistema de sierra 65
CAPÍTULO IV 66
RESULTADOS 66
4.1 Propuesta final del modelo 3d 66
4.2 Componentes principales 69
4.3 Simulación final 72
CAPÍTULO V 77
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 77
5.1 Conclusiones 77
5.2 Recomendaciones 78
Referencias 79

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Antigua máquina cortadora de tipo sierra cinta 17
Figura 2.2. Tipos de cintas de corte 17
Figura 2.3. Tamaños de cintas. 18
Figura 2.4. Perfiles metálicos. 19
Figura 2.5. Procedimiento de selección de cintas para corte de materiales. 19
Figura 2.6. Tipos de sierras cintas y sus respectivas formas de trabajo. 20
Figura 2.7. Corte en sierra cinta..... 20
Figura 2.8. Sierra semiautomática para corte de metales 23
Figura 2.9. MODICON 084, primer PLC fabricado comercialmente 24
Figura 2.10. Diagrama de funcionamiento de un PLC 26
Figura 2.11. Estructura interna de un PLC..... 26
Figura 2.12. Diagrama de flujo de un PLC 29
Figura 2.13. Diagrama de ejemplo de una lógica cableada 30
Figura 2.14. Diagrama de ejemplo de una lógica programada..... 31
Figura 2.15. Sistemas actuales en la industria 32
Figura 2.16. Etapas del proceso de diseño de ingeniería 33
Figura 2.17. Diagrama básico para la selección y diseño de mecanismos 34
Figura 2.18. a) Normales a superficies, b) Componentes de esfuerzo positivas, c) Componentes de esfuerzo negativas..... 37
Figura 2.19 Elemento de esfuerzo bidimensional 38
Figura 2.20. Fixture de marcado para la industria arnesera modelado en Solidworks 42
Figura 3.1. Etapas del procedimiento para la selección de materiales 46
Figura 3.2. Propiedades sensibles a la microestructura 47
Figura 3.3. Propiedades insensibles a la microestructura. 47
Figura 3.4. Carro tope de aluminio para posicionamiento..... 50
Figura 3.5. Mesa de alimentación..... 50
Figura 3.6. Selección del husillo para el sistema de tope automático..... 52

Figura 3.7. Husillo de bolas vs Husillo ACME 52
Figura 3.8. Motor a pasos Nema 23 53
Figura 3.9. Mesa de rodillos 54
Figura 3.10. Base para alimentación 54
Figura 3.11. Prensa de alimentación 55
Figura 3.12. Pistón Parker 700mm de carrera 55
Figura 3.13. Simulación de esfuerzo Von Mises en la cama de rodillos 56
Figura 3.14. Simulación de desplazamientos en la cama de rodillos 57
Figura 3.15. Ensamble principal en Solidworks 58
Figura 3.16. PLC Codesys 59
Figura 3.17. Disposición de un encoder linear dentro de un cilindro hidráulico 60
Figura 3.18. Diseño preliminar del alimentador 60
Figura 3.19. Diseño final de la estructura del alimentador 61
Figura 3.20. Resultados del análisis de esfuerzos von Mises 61
Figura 3.21. Diagrama de flujo sobre el funcionamiento del alimentador automático 62
Figura 3.22. Tablas de verdad 63
Figura 3.23. Diagrama del circuito hidráulico y eléctrico en Fluid Sim 64
Figura 3.24. Diagrama prensa sujetadora de material acoplada al transportador 64
Figura 3.25. Diagrama prensa sujetadora de material acoplada a la sierra 65
Figura 4.1 Detalle principal de alimentador automático 66
Figura 4.2 Mesa de rodillos 67
Figura 4.3 Mesa de alimentación 68
Figura 4.4. Visita isométrica de la mesa de alimentación 68
Figura 4.5. Ejemplos de tornillos de bola 71
Figura 4.6. Características principales del tornillo de bola seleccionado 71
Figura 4.7. Propuesta final de diseño del alimentador automático 72
Figura 4.8. Resultados de von Mises 73
Figura 4.9. Diagrama de esfuerzos en materiales metálicos 74
Figura 4.10. Desplazamientos resultantes en la mesa de rodillos 75
Figura 4.11. Esquema de la deformación unitaria 76
Figura 4.11. Deformaciones unitarias en la mesa de rodillos 76

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Índice de cortes según distintas normativas para un correcto desempeño de la herramienta de corte 21
Tabla 2.2. Ejemplos de mecanismos y algunas de sus aplicaciones en la industria 35
Tabla 3.1. Comparativa de los diferentes tipos de alimentadores existentes 45
Tabla 3.2. Tabla de toma de decisiones para la selección del tipo de alimentador 45
Tabla 4.1. Propiedades mecánicas del Acero 1045 70
Tabla 4.2. Esfuerzos de fluencia y de esfuerzo último en aceros 73

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

La producción automatizada es una solución integral de punta a punta: transparente, generadora de confianza y eficiente. Ésa es la promesa de la Automatización Industrial, un componente medular del Internet Industrial de las Cosas (IoT, por sus siglas en inglés), que constituye parte de un ecosistema digital vasto y autosustentable que podría contribuir más de 10 trillones de dólares a la economía global para 2030 [1].

Por lo que, desbloquear plenamente el potencial de la Automatización Industrial puede representar un reto importante para muchas empresas. No sólo se requieren nuevas herramientas, sino también nuevas aptitudes, nuevas formas de compartir y gestionar la información, y también una nueva forma de pensar, incluyendo la complejidad añadida para aquellas organizaciones que no son “nativas digitales” o las que no están organizadas operativamente para tener un ecosistema en red.

En el presente trabajo de tesis se desarrolla el proceso completo para fabricar e implementar un dispositivo de alimentación de material para una cortadora de tipo sierra de cinta automatizada de carácter profesional que satisfaga las necesidades de la empresa que la requiere. Dicha máquina abarca la especialidad mecatrónica debido a el diseño y los diferentes componentes que la conforman.

El diseño mecánico se utiliza para determinar los materiales y la forma de la estructura principal, la electrónica se necesita para poder determinar los tipos de sensores y controlar el movimiento de actuadores y motores y la rama de la programación se emplea para el cálculo, almacenamiento y procesamiento de datos que provienen del software que controla la trayectoria del dispositivo de alimentación.

1.1 Antecedentes

La automatización industrial, considerada como el manejo de la información en las empresas para la toma de decisiones en tiempo real, incorpora la informática y el control automatizado para la ejecución autónoma y de forma óptima de procesos deseados según criterios de ingeniería y en conjunto con los planes de la dirección empresarial [2].

El concepto de automatización, del griego “automatos” que significa actuar por sí mismo, corresponde a la necesidad de minimizar la intervención humana en los procesos de gobierno directo en la producción, es decir, ahorrar esfuerzo laboral [3].

Merriam Webter sugiere una interesante definición de automatización: método de controlar automáticamente la operación de un aparato, artefacto, proceso o sistema integrado por diversos componentes a través de medios mecatrónicos, electrónicos y computacionales que sustituyen los órganos sensitivos y la capacidad de decisión del ser humano [4].

La finalidad primordial de la automatización industrial es la de gobernar la evolución de un proceso sin la intervención, salvo esporádica, de un operador [5].

1.2 Planteamiento del problema

En la empresa “Diseño Industrial” el proceso de corte mediante la máquina sierra cinta es demasiado lento e impreciso, esto aumenta la cantidad de tiempo necesaria para obtener una pieza final, por ello, se requiere una máquina o dispositivo que pueda realizar la alimentación de dichas piezas a un ritmo constante y con medidas que rondan las milésimas de pulgada para reducir los tiempos de producción de piezas finales en dicha empresa.

1.3 Justificación

Se requiere diseñar, fabricar e implementar un dispositivo Mecatrónico de bajo costo que sirva para alimentar los diferentes perfiles metálicos que se utilizan como materias primas en la empresa para reducir los tiempos de producción de piezas finales y así minimizar los tiempos muertos de la máquina de corte.

1.4 Objetivo

1.4.1 Objetivo general

Diseño, modelado y fabricación de un alimentador automático para una máquina de corte de tipo sierra cinta para la empresa “Diseño Industrial” ubicada en Ciudad Obregón, Son.

1.4.2 Objetivos específicos

1. Realizar los cálculos de ingeniería pertinentes para la selección de los elementos principales del alimentador.
2. Modelar el alimentador en Solidworks.

3. Hacer las simulaciones adecuadas en solidworks para corroborar la viabilidad del diseño mecánico.
4. Presentar la propuesta de diseño a la empresa.
5. Fabricar la máquina mediante procesos de manufactura adecuados y específicos.

1.5 Alcances y limitaciones

1.5.1. Alcances

1. Diseñar y modelar el prototipo de un alimentador automático para una máquina de corte de tipo sierra cinta.
2. Utilizar PLC para el control de la máquina.

1.5.2. Limitaciones

1. La prensa de alimentación abrirá hasta 6 pulgadas.
2. La mesa de rodillos soportará solo 350 Kg de peso.
3. La carrera máxima del vástago del pistón alimentador será de 700mm.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Automatización industrial

Los principales inventos y descubrimientos de carácter científico y tecnológico que contribuyeron a la mecanización de la industria y, en consecuencia, a su formidable desarrollo hasta finalizar el siglo XIX, fueron numerosos y variados e hicieron su aparición o se produjeron, mayormente, en Inglaterra, erigida, en la más grande potencia industrial y comercial del mundo, en el primer centro fabril del Orbe. Y, desde fines del pasado siglo, experimento también Estados Unidos de América un inusitado y portentoso desarrollo de su industria hasta rivalizar con Inglaterra. Poco después entraría en la escena Alemania, cuyos progresos inmensos sorprenderían al mundo desde las primeras décadas del presente siglo [6].

A comienzos del siglo XX, la explosiva expansión industrial y el empleo masivo de maquinaria impulsada por energía motriz demandó una búsqueda constante de procesos cada vez más eficientes. Hasta hace unos 60-65 años, la mano de obra requerida en las tareas industriales era densa, lo cual no sólo exigía enormes dotaciones de obreros, sino

que además afectaba la calidad, precisión y repetibilidad, encarecía los costos y disminuía la producción. Ese fue precisamente el desafío que enfrentaron las industrias durante la primera mitad del siglo XX y, por lo tanto, los avances tecnológicos cobraron impulso hacia la automatización de los procesos de manufactura, es decir, hacia el diseño de máquinas capaces de programarse para realizar automáticamente todas las tareas manuales de un operario. Se comenzaron a utilizar máquinas de corte que facilitaran el proceso de maquinado, debido a esta necesidad surgieron distintas máquinas, entre ellas destacaron las máquinas de corte de tipo sierra cinta.

2.2 Procesos de corte de material

El proceso de cortar un material implica separar o ranurar barras, tubos, placas u hojas por diversos medios. Las máquinas vienen en varios tipos, como un torno (usando una herramienta de corte de un solo punto), sierras para metales, sierras de cinta, sierras circulares, sierras de fricción y ruedas abrasivas delgadas. El corte también puede llevarse a cabo cortando y recortando, así como utilizando llamas y rayos láser [6].

2.2.1 La sierra de cinta

Las sierras de cinta, verticales, horizontales y universales se utilizan para cortar. El corte o ancho de corte es pequeño, con una pérdida pequeña en consecuencia material caro Los dientes de las sierras de cinta, como los de las sierras para metales, son establecido con el tipo alternativo regular, uno doblado a la derecha y el siguiente a la izquierda; o con el conjunto alternativo y central, en el que un diente se dobla para la derecha, la segunda a la izquierda y la tercera recta en el centro. Con hojas de sierra de acero de alta velocidad, las velocidades de la banda van desde aproximadamente 30 pies/min (10m/min), para aleaciones de alta temperatura a aproximadamente 400°C y 120°C para aceros al carbón. Para aleaciones de aluminio y magnesio, la velocidad varía hasta aproximadamente 1300 pies/min y 400m/min con cuchillas altas en carbono. La banda la velocidad debe disminuirse a medida que aumenta el grosor de la pieza de trabajo.

Estas sierras pueden ser utilizadas en los trabajos de carpintería y carpintería metálica, así como también para cortar diversos materiales, y son muy útiles en el corte de formas irregulares (ver Figura 2.1). Esta máquina se compone de un bastidor, en forma de cuello de cisne, soportando dos volantes equilibrados y superpuestos en un mismo plano vertical y sobre los cuales se encierran una hoja de sierra sinfín llamada cinta.

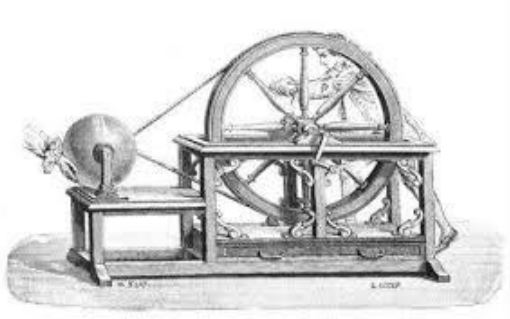


Figura 2.1. Antigua máquina cortadora de tipo sierra cinta

En la actualidad existen tres tipos de sierra de cinta, cada una con funciones y cuidados específicos, de acuerdo con un tipo de trabajo especial: manuales, semiautomáticas y automáticas, que realizan cortes horizontales, verticales y angulares. Uno de los elementos más importantes de esta máquina es su herramienta de corte:

Cinta: Es una hoja con dientes trabados hacia los lados y soldados con máquinas especiales a la longitud específica de cada máquina (ver Figura 2.2).

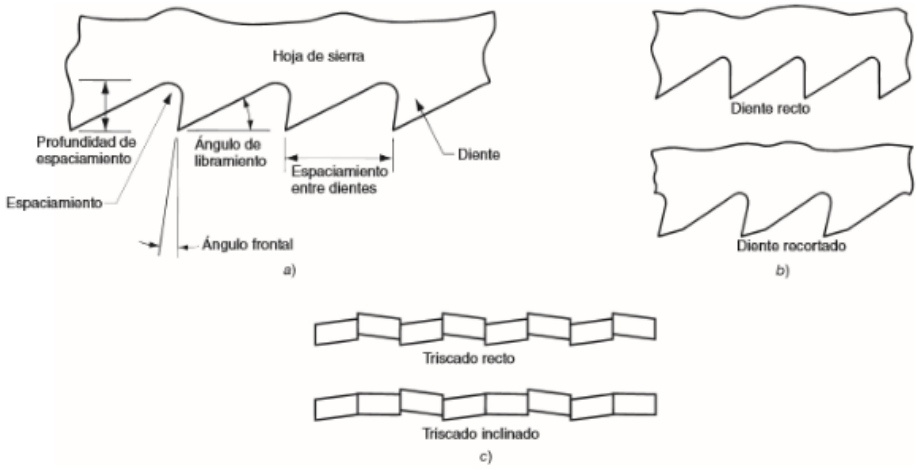


Figura 2.2. Tipos de cintas de corte

Existen tres tipos de sierra cintas para corte de metal, cada una con funciones específicas.

1. **Acero al carbón**: Hojas con dientes templados, construidas con una sola pieza de acero al carbono. Destinadas al corte de madera y alimentos.

2. **Bimetálicas**: Tienen una fabricación especial en la que un hilo de acero rápido es soldado rápidamente a un fleje de acero. El fleje contiene 4% de Cromo y está desarrollado para tolerar cargas mecánicas y dinámicas, presenta alta resistencia a la fatiga y al desgaste. Esto la hace ideal para cortar metales de todo tipo: Ferrosos y No Ferrosos, aceros aleados en alta temperatura, aleaciones de alta dureza, acero de herramienta y acero inoxidable.

3. **Carburo de Tungsteno**: Hojas en las que la punta de los dientes es de carburo. Esta herramienta está desarrollada para el corte de aleaciones de gran resistencia y donde se requieren altos rendimientos en los procesos de corte.

El tamaño del diente está en función del tipo de dentado utilizado, paso constante (distancia uniforme entre las puntas de los dientes) o paso variable (distancia variable entre las puntas de los dientes) además de la cantidad de dientes por pulgada y el ancho de la cinta (ver Figura 2.3).

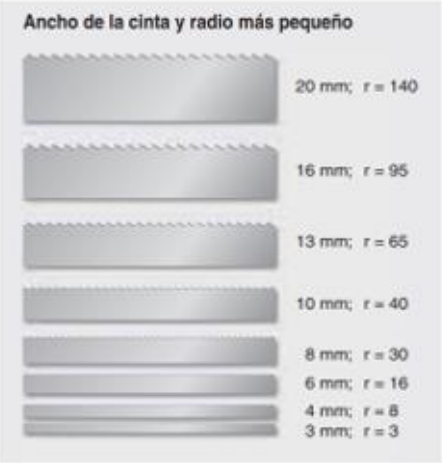


Figura 2.3. Tamaños de cintas.

En la Figura 2.4, se muestran los diferentes tipos de perfiles que se cortan con una sierra cinta:



Figura 2.4. Perfiles metálicos.

El procedimiento para seleccionar la sierra cinta adecuadamente es el siguiente (ver Figura 2.5):

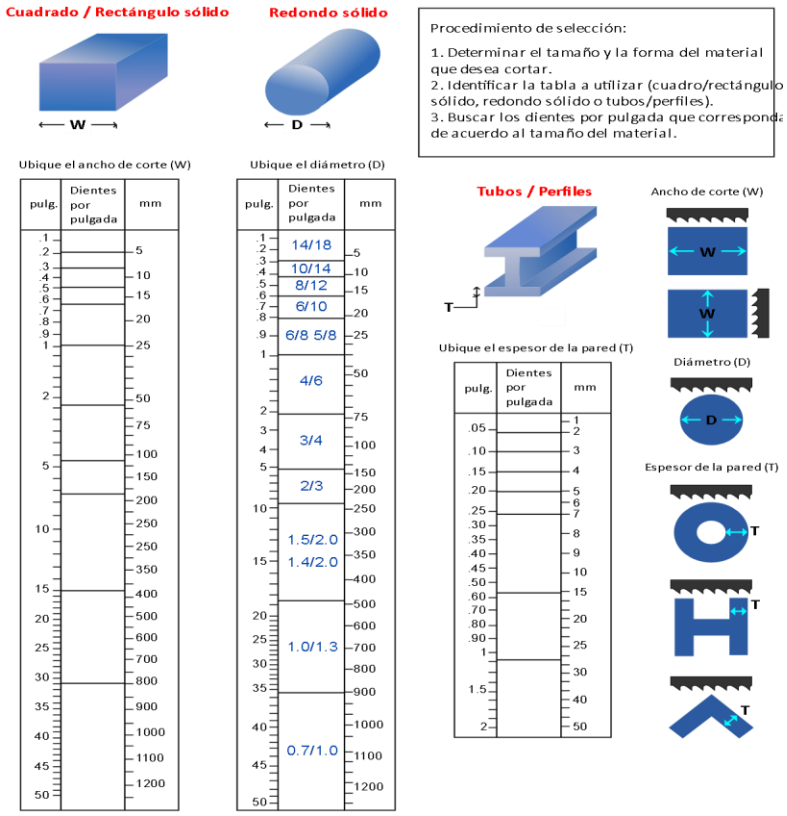


Figura 2.5. Procedimiento de selección de cintas para corte de materiales.

2.3 Funcionamiento de la sierra cinta

El **aserrado** es un procedimiento de corte en frío por medio del cual se secciona el metal formando una hendidura estrecha dentro de la pieza de trabajo mediante arranque de pequeñas virutas. En la mayoría de las operaciones de aserrado, la pieza de trabajo se mantiene estática y la hoja de la sierra se mueve respecto a ésta. Existen tres tipos básicos de aserrado de acuerdo con el movimiento de la cinta (ver Figura 2.6).

1. Con segueta
2. Con sierra cinta
3. Con sierra circular

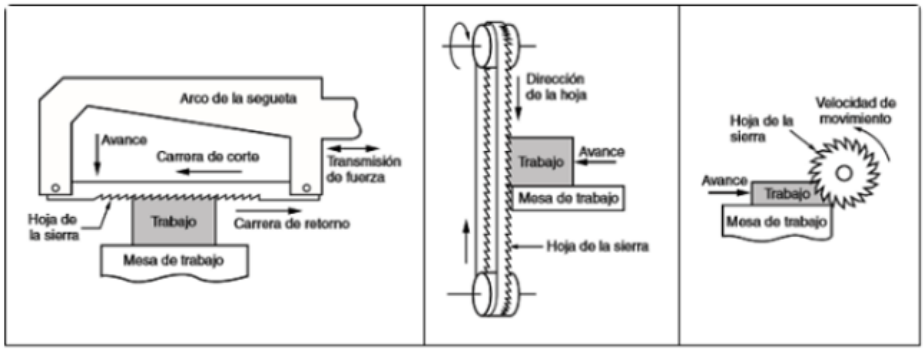


Figura 2.6. Tipos de sierras cintas y sus respectivas formas de trabajo.

El aserrado con cinta implica un movimiento lineal continuo que utiliza una sierra cinta hecha en forma de banda flexible sin fin con dientes en uno de sus bordes. La máquina aserradora tiene un mecanismo de transmisión con poleas para mover y girar continuamente la sierra cinta delante de la pieza de trabajo (ver Figura 2.7).



Figura 2.7. Corte en sierra cinta.

2.4 Índice de corte

Además de conocer el tipo de dentado para cada espesor, se debe conocer el índice de corte, el cual indica el tiempo que se debe emplear para cortar determinada pieza; este se mide en centímetros cuadrados por minuto (cm^2/min). En la Tabla 2.1, se muestra los índices de corte y normas para el desempeño de la herramienta de corte.

Tabla 2.1. Índice de cortes según distintas normativas para un correcto desempeño de la herramienta de corte

Material	Dimensión de la pieza ancho (cuadrado sólido) / diámetro (redondo sólido)			50 – 125 mm
	Norma ABNT / AISI / SAE	Dureza	VC (velocidad) m/min	IC (índice de corte) cm^2/min
Aceros al carbono	1005 – 1012	150 HB	79 – 91	77 – 103
	1015 – 1026	150 HB	76 – 88	71 – 97
	1030 – 1055, A36	175 HB	55 – 67	52 – 58
	1060 – 1095	200 HB	49 – 61	39 – 52
Aceros rápidos	M1, M2, M7, M10	225 HB	30 – 40	19 – 26
	M3, M4, M30 – M47	225 HB	20 – 30	13 – 19
	T1, T2, T6	250 HB	34 – 40	19 – 26
	T15	250 HB	18 – 27	13 – 19
	T4, T5	252 HB	27 – 37	13 – 19
Aceros níquel cromo molibdeno	4320	175 HB	61 – 73	45 – 58
	4340	200 HB	55 – 67	39 – 52
	8115, 8615, 8145, 8625 – 8637	175 HB	61 – 73	45 – 58
	8640 – 8660, 8740	200 HB	55 – 73	39 – 52
	8720, 8822	200 HB	61 – 73	45 – 58
	9310	175 HB	49 – 58	19 – 26
	9430 – 9445	200 HB	55 – 67	39 – 52
Aceros de herramientas de trabajo en frío	A2 – A6, A8 – A10	200 HB	55 – 67	19 – 26
	D2 – D7, A7	250 HB	20 – 30	13 – 19
	O1, O2, O6, O7	200 HB	55 – 67	26 – 39
Aceros de herramientas de trabajo en caliente	H10 – H19, H21 – H42, P20	200 HB	40 – 49	19 – 26
	L2, L6	200 HB	52 – 64	19 – 26
	S1, S7	200 HB	40 – 49	19 – 26
Aceros inoxidables austeníticos	201, 202, 301 – 308, 321, 347	150 HB	30 – 37	19 – 26
	A286, 309, 310, 314, 316, 317, 330	175 HB	21 – 24	10 – 13

Los siguientes componentes son de igual importancia sin embargo solo se mencionan brevemente:

1. **Motor:** Es el que mueve los volantes de la máquina, determinando la potencia de estos.
2. **Volantes:** Están equilibrados en un mismo plano, que puede ser horizontal o vertical y sobre los cuales se coloca la sierra u hoja de sierra sinfín. El volante principal recibe el impulso del motor y el secundario es arrastrado por la hoja de sierra sinfín.
3. **Guías:** Estos dispositivos, como su nombre lo indica, guían y alinean la cinta cuando se encuentra en funcionamiento con la finalidad de que no se tuerza o sufra fisuras que puedan provocar su fractura.
4. **Bombas Hidráulicas:** Son las que suministran la fuerza necesaria a las máquinas semiautomáticas y automáticas para el acondicionamiento de las prensas y la cabeza de corte.
5. **Bombas de refrigeración:** Bombea el líquido refrigerante para que éste a su vez enfríe y lubrique la cinta durante el corte.
6. **Prensas:** Ejercen la presión en el material que se va a cortar para que los cortes sean precisos.

2.5 Clasificación de sierras cinta

Las máquinas de corte de tipo sierra-cinta también se pueden dividir según el tipo de material a cortar, por ello, existen las siguientes clasificaciones:

1. **Sierras de cinta para corte de metal:** Son las que requieren de un refrigerante que vaya suministrándose constantemente sobre la hoja de sierra de cinta, manteniendo a la sierra a baja temperatura e impidiendo, a su vez, un sobrecalentamiento que causaría defectos en los cortes y acortaría el lapso de vida útil de la cuchilla.

2. **Sierras de cinta para corte de madera:** Consiste en una hoja de metal dentada altamente flexible que es cortada y soldada de acuerdo con el diámetro de los volantes de la máquina. Ésta produce el corte por deslizamiento continuo sobre la pieza a cortar.
3. **Sierras de cintas automatizadas:** Son las que manejan velocidades de alimentación preestablecidas, reversa y sujeción de partes. Generalmente son empleadas en ambientes de trabajo donde no es conveniente tener un operario de máquina para cada aparato. Algunas de estas sierras funcionan mediante un control numérico por computadora para efectuar cortes más precisos.
4. **Sierra cinta semiautomática:** Son máquinas que tienen un sistema menos complejo de funcionamiento que el de una automática, pero tienen gran utilidad en talleres industriales pequeños. Un ejemplo de este tipo de máquina se puede observar en la Figura 2.8



Figura 2.8. Sierra semiautomática para corte de metales

2.6 Historia del PLC

El PLC (Control Lógico Programable) inicio cuando apareció el propósito de eliminar el enorme costo que significaba el reemplazo de un sistema de control basado en relés (relays) a finales de los años 60. La empresa Bedford Associates (Bedford, MA) propuso un sistema

al que llamó Modular Digital Controller o MODICON a una empresa fabricante de autos en los Estados Unidos.

El MODICON 084 fue el primer PLC producido comercialmente (ver Figura 2.9). Con este Sistema cuando la producción necesitaba variarse, entonces se variaba el sistema y este estaba listo para seguir trabajando.



Figura 2.9. MODICON 084, primer PLC fabricado comercialmente

En el sistema basado en relés, estos tenían un tiempo de vida limitado y se necesitaba un sistema de mantenimiento muy estricto. El alambrado de muchos relés en un sistema muy grande era muy complicado, si había una falla, la detección del error era muy tediosa y lenta. Este nuevo controlador (el PLC) tenía que ser fácilmente programable, su vida útil tenía que ser larga y ser resistente a ambientes difíciles. Esto se logró con técnicas de programación conocidas y reemplazando los relés por elementos de estado sólido.

A mediados de los años 70, la AMD 2901 y 2903 eran muy populares entre los **PLC MODICON**. Por esos tiempos los microprocesadores no eran tan rápidos y sólo podían compararse a PLC's pequeños. Con el avance en el desarrollo de los microprocesadores (más veloces), cada vez PLC más grandes se basan en ellos. La habilidad de comunicación entre ellos apareció aproximadamente en el año 1973. El primer sistema que lo hacía fue el Modbus de *MODICON.*

Los PLC podían incluso estar alejados de la maquinaria que controlaban, pero la falta de estandarización debido al constante cambio en la tecnología hizo que esta comunicación se tornara difícil. En los años 80 se intentó estandarizar la comunicación entre PLCs con el

protocolo de automatización de manufactura de la *General Motors* (MAP). En esos tiempos el tamaño del PLC se redujo, su programación se realizaba mediante computadoras personales (PC) en vez de terminales dedicadas sólo a ese propósito

En los años 90 se introdujeron nuevos protocolos y se mejoraron algunos anteriores. El último estándar (IEC 1131-3) ha intentado combinar los lenguajes de programación de los PLC en un solo estándar internacional. Ahora se tiene PLC's que se programan en función de diagrama de bloques, listas de instrucciones, lenguaje C, etc. al mismo tiempo. También se ha dado el caso en que computadoras personales (PC) han reemplazado a PLC's.

2.7 PLC: definición y principales características

El controlador lógico programable, más conocido por sus siglas en inglés PLC (Programmable Logic Controller), se trata de una computadora, utilizada en la ingeniería automática o automatización industrial, para automatizar procesos electromecánicos, tales como el control de la maquinaria de la fábrica en líneas de montaje o atracciones mecánicas. Sin embargo, la definición más precisa de estos dispositivos es la dada por la NEMA (Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos) que dice que un PLC es: "Un instrumento electrónico, que utiliza memoria programable para guardar instrucciones sobre la implementación de determinadas funciones, como operaciones lógicas, secuencias de acciones, especificaciones temporales, contadores y cálculos para el control mediante módulos de E/S analógicos o digitales sobre diferentes tipos de máquinas y de procesos".

El campo de aplicación de los PLCs es muy diverso e incluye diversos tipos de industrias (ej. automoción, aeroespacial, construcción, etc.), así como de maquinaria. A diferencia de las computadoras de propósito general, el PLC está diseñado para múltiples señales de entrada y de salida, amplios rangos de temperatura, inmunidad al ruido eléctrico y resistencia a la vibración y al impacto. Un PLC es un ejemplo de un sistema de tiempo real duro donde los resultados de salida deben ser producidos en respuesta a las condiciones de entrada dentro

de un tiempo limitado, que de lo contrario no producirá el resultado deseado. En la Figura 2.10, se muestra cómo funciona un PLC.

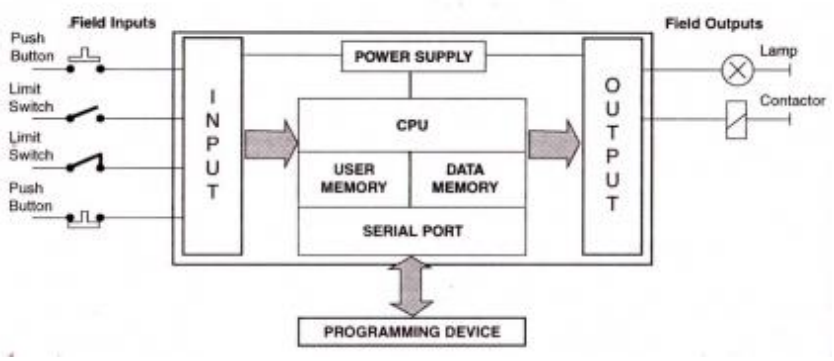


Figura 2.10. Diagrama de funcionamiento de un PLC

2.8 Composición de un PLC

Cada Controlador Lógico Programable se compone de dos partes básicas (ver Figura 2.11):

1. Sección operativa (SO)
2. Sección de comando (SC)

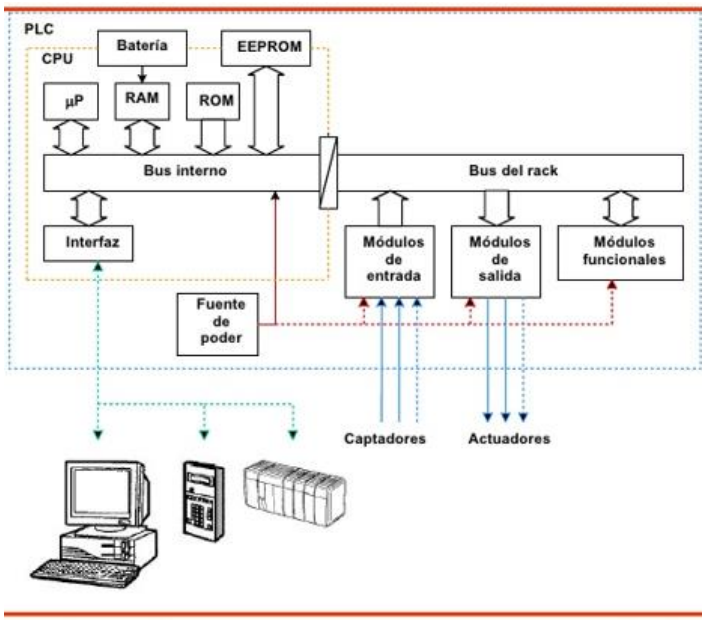


Figura 2.11. Estructura interna de un PLC

1. **Sección operativa (SO)**

Es la que opera la materia prima y el producto en general y se compone de los medios y herramientas necesarias para transformar la materia prima, por ejemplo: bombas, utensilios, taladros, etc. Los accionadores destinados a mover y poner en funcionamiento estos medios, por ejemplo:

1) Motores eléctricos para accionar una bomba.
2) Gatos hidráulicos para cerrar una válvula.
3) Gatos neumáticos para taladrar un cabezal de perforación.

2. **Sección de comando (SC)**

Es la que emite las ordenes hacia la sección operativa (SO) y recoge las señales de retorno para sus acciones. Cada vez más, la sección de comando (SC) se basa en técnicas de lógica programada. Como parte central de la secci6n de comando (SC) está el tratamiento, que conste en la unión de tres diálogos:

1) **Diálogo de la máquina:** Consiste en el comando de los accionadores, (motores, gatos) a través de los pre-accionadores (contadores, distribuidores, variadores), y de la adquisición de las señales de la retroalimentación provenientes de los sensores que dependen de la evolución del proceso.

2) **Diálogo hombre-máquina:** Para manejar, regular, calibrar la máquina, el personal introduce mensajes y comandos y recoge informaciones del autómata.

3) **Diálogo entre otras máquinas:** Varias máquinas pueden operar en una misma producción. Su coordinación está asegurada por el diálogo entre las secciones de comando.

2.9 Características del PLC

Los PLC se encuentran en la gran mayoría de las máquinas de proceso que se fabrican actualmente y, a veces disfrazados de tablillas electrónicas de control, pero siempre reduciendo en gran medida la mano de obra que requerían todos los tableros de control alambrados que hasta hace unos años eran omnipresentes en la industria y, en gran medida su gran difusión los ha abaratado tanto que aún en las operaciones más sencillas, el PLC toma el lugar de temporizadores y contadores.

Al alambrar un PLC se debe tener cuidado en emplear los cables con código de colores para evitar en lo posible cualquier error que pudiera ser muy costoso. Las compañías fabricantes de máquinas usan el siguiente código de colores para los cables:

1) **AZUL** para circuitos de control en **c.d.**
2) **ROJO** para control en **c.d.**
3) **VIOLETA** y/o **GRIS** para entradas/salidas del PLC.
4) **NEGRO** para circuitos de fuerza.
5) **BLANCO** en cables puestos a tierra en **c.a.** (neutro) y el ¿?????
6) **VERDE** para la conexión a tierra.

2.10 Funcionamiento

La función básica y primordial del PLC ha evolucionado con los años para incluir el control del relé secuencial, control de movimiento, control de procesos, sistemas de control distribuido y comunicación por red. Las capacidades de manipulación, almacenamiento, potencia de procesamiento y de comunicación de algunos PLC's modernos son aproximadamente equivalentes a las computadoras de escritorio. Un enlace-PLC programado combinado con hardware de E/S remoto, permite utilizar un ordenador de sobremesa de uso general para suplantar algunos PLC en algunas aplicaciones. En la Figura 2.12, se muestra el diagrama de funcionamiento de un PLC:

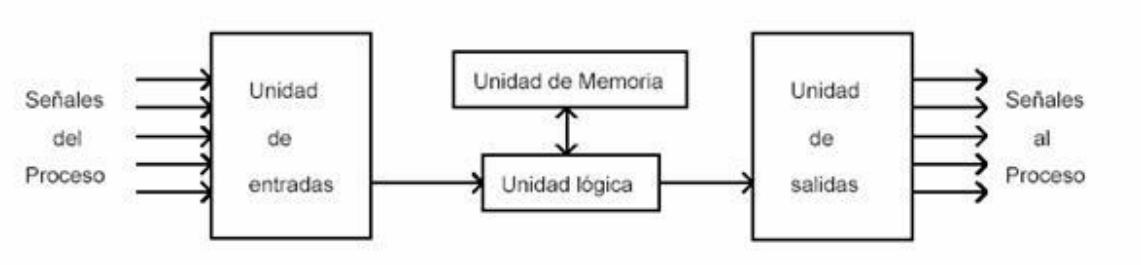


Figura 2.12. Diagrama de flujo de un PLC

En general, estas funciones básicas pueden ser:

1) **Detección:** Lectura de la señal de los captadores distribuidos por el sistema de fabricación.
2) **Mando:** Elaborar y enviar las acciones al sistema mediante los accionadores y pre-accionadores.
3) **Diálogo hombre-máquina**: Mantener un diálogo con los operarios de producción, obedeciendo sus consignas e informando del estado del proceso.
4) **Programación:** Para introducir, elaborar y cambiar el programa de aplicación del autómata. El dialogo de programación debe permitir modificar el programa incluso con el autómata controlando la máquina.

2.11 Técnicas de automatización

La automatización industrial es el uso de sistemas o elementos computarizados y electromecánicos para controlar maquinarias o procesos industriales. Como una disciplina de la ingeniería más amplia que un sistema de control, abarca la instrumentación industrial, que incluye los sensores, los transmisores de campo, los sistemas de control y supervisión, los sistemas de transmisión y recolección de datos y las aplicaciones de software en tiempo real para supervisar y controlar las operaciones de plantas o procesos industriales [7].

2.11.1 Lógica cableada

Denominamos conexión cableada a todos los controladores cuya función se determina mediante la conexión (cableado) de sus elementos individuales de conexión. Así, por ejemplo, se determina la función de control de un contactor mediante la selección de los elementos de conexión (abrir o cerrar) y por las características de su conexión (conexión en serie o conexión en paralelo). La estructura mecánica, así como el cableado en el armario de distribución depende de la función del controlador. El montaje y cableado de un controlador programable puede efectuarse recién después de que se conozca su programa, es decir, sus documentaciones de conexión. Cada cambio posterior de las funciones del controlador requiere un cambio de la estructura y del cableado. Estos cambios son muchas veces costosos y exigen mucho tiempo. La Figura 2.13, se muestra el diagrama de una lógica de cableado.

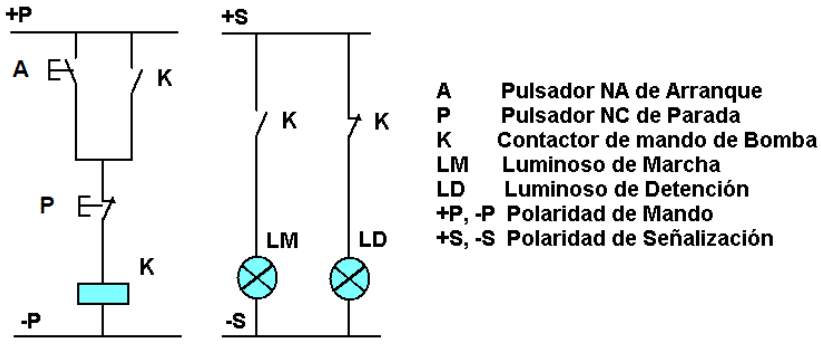


Figura 2.13. Diagrama de ejemplo de una lógica cableada

2.11.2 Lógica programada

En cambio, la estructura y el cableado son ampliamente independientes de la función deseada del controlador. Al aparato de automatización se conecta todos los contactos emisores requeridos para la función del controlador (interruptores, pulsadores, barras de luz, etc.) y todos los aparatos activadores sujetos al controlador (contactores, válvulas, etc.).

En este caso el autómata se basa en la programación de sus constituyentes. El funcionamiento obtenido resulta de la programación efectuada. De esta forma la labor efectuada puede cambiar alternando el programa; y con ello la flexibilidad es mayor (Ver Figura 2.14).

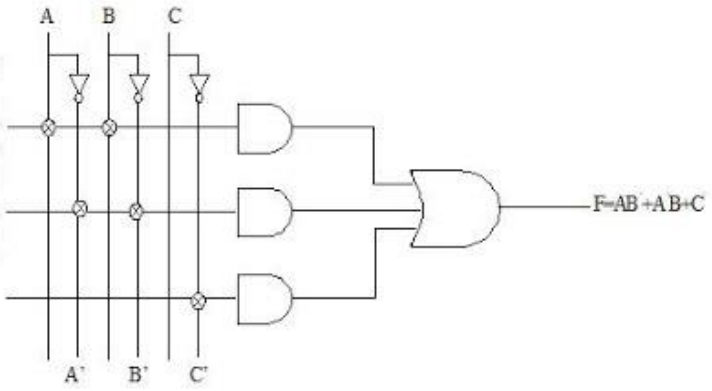


Figura 2.14. Diagrama de ejemplo de una lógica programada

2.12 Tendencias

Las máquinas modernas controladas por un PLC tienen pocos botones de mando, porque han sido sustituidos en gran medida por los paneles de mando que a su vez tienen una pequeña o gran pantalla de avisos y, en algunos casos hasta permiten la programación de la Producción (ver Figura 2.15). Estos sistemas donde los PLC son supervisados por sistemas más complejos están actualmente en uso en las grandes compañías acereras, de alimentos y de automóviles.

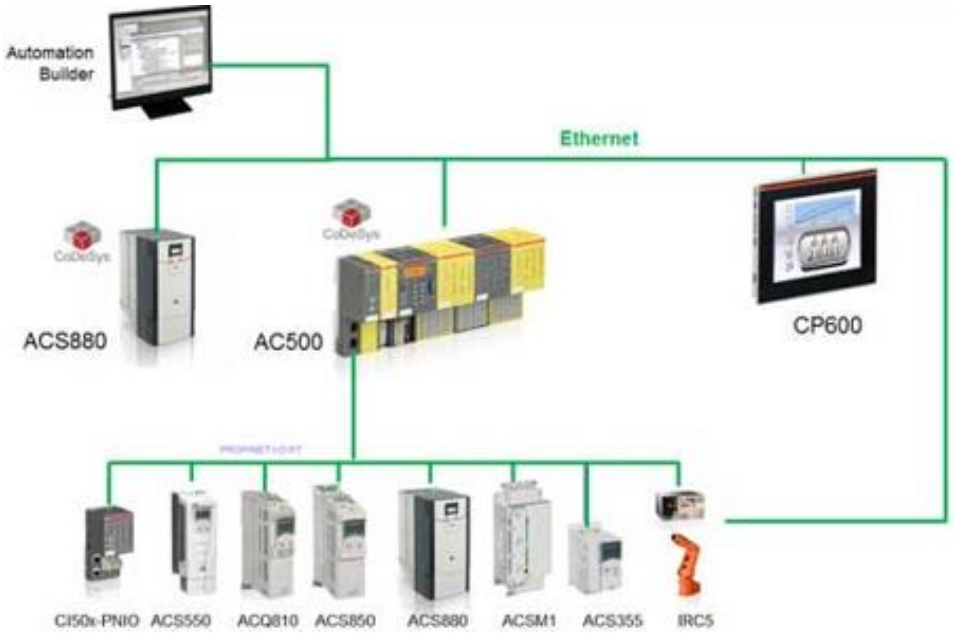


Figura 2.15. Sistemas actuales en la industria

2.13 Etapas de diseño en ingeniería

El departamento de diseño y desarrollo es de importancia central en cualquier empresa. Los diseñadores determinan las propiedades de cada producto en términos de función, seguridad, ergonomía, producción, transporte, operación, mantenimiento, reciclaje y eliminación. Además, los diseñadores tienen una gran influencia en los costos de producción y operación, en la calidad y en los plazos de producción. Debido a este peso de responsabilidad, los diseñadores deben reevaluar continuamente los objetivos generales de la tarea en cuestión [8].

Estos pasos son aplicables a las tareas más simples del diseño de componentes, así como al diseño de sistemas complejos y garantiza una completa cobertura de las fases significativas del proceso de diseño creativo.

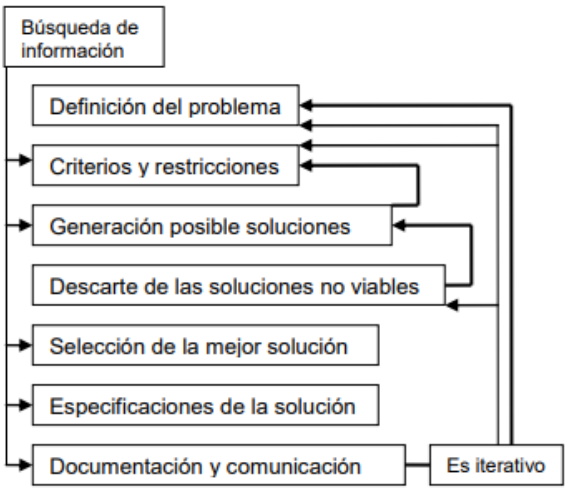


Figura 2.16. Etapas del proceso de diseño de ingeniería

A continuación, se describen las diferentes etapas del proceso de diseño:

1. **Definición del problema:** Establecer los límites, delimitar el alcance de la solución.
2. **Criterios de selección y limitaciones:** Definir restricciones y limitaciones a las que se sujeta la solución del problema.
3. **Búsqueda de información:** Determinar fuentes de información pertinente para cada paso del proceso.
4. **Generación de la mayor cantidad de soluciones:** Número de soluciones planteadas, número de probabilidades de mejor solución.
5. **Análisis y descarte de soluciones viables:** Tamizar soluciones, confirmando restricciones impuestas a la solución.
6. **Selección de la mejor solución:** Determinar la mejor solución escogida: Organizar generación prototipo a partir de solución seleccionada.
7. **Comunicación de la solución escogida:** Desarrollo, documentación del proceso, solución del problema y material de socialización.

2.14 La necesidad de mecanismos

Los mecanismos son casi siempre impulsados por un solo actuador para producir una amplia variedad de movimientos (Ver Figura 2.17), que van del muy simple respecto a un eje fijo, como el movimiento reciprocante u oscilatorio, hasta los movimientos tridimensionales sumamente complejos (Tren de aterrizaje de un avión, mecanismo de cubierta de un automóvil convertible, entre otros) [9].

Un movimiento cinemático deseado puede realizarse de muchas maneras diferentes, lo importante es diseñar un mecanismo apropiado: uno que no solo sea de precio razonable y se ajuste al espacio disponible, sino que también sea confiable e insensible a cambios en la manufactura y desgaste, que tenga una buena ventaja mecánica, etc. Diseñar un mecanismo apropiado implica lo siguiente:

- **Seleccionar el tipo apropiado de mecanismo**, llamado tipo síntesis; escoger un tipo particular de eslabonamiento, por ejemplo, un sistema de leva, un tren de engranajes, un dispositivo de movimiento intermitente o una combinación de ellos.
- **Determinar un conjunto de dimensiones apropiadas**, o mejor aún, óptimas, para las diversas partes que comprenden el tipo de mecanismo escogido, llamado síntesis dimensional.



Figura 2.17. Diagrama básico para la selección y diseño de mecanismos

No es un problema de dinámica básico, sino que un mecanismo no es más que una masa puntual. Existen mecanismos simples, que se analizan desde un enfoque de dos dimensiones, o mecanismos complejos, que se pueden estudiar desde rotaciones tridimensionales.

Entender cómo funciona un mecanismo en particular es bastante fácil, pero comprender como se originó y por qué se diseñó en esa forma específica, es más difícil. La tarea fundamental de conceptualizar los mecanismos sigue siendo una combinación de arte y ciencia. En la Tabla 2.2 se muestran ejemplos de mecanismos y sus aplicaciones en la industria.

Tabla 2.2. Ejemplos de mecanismos y algunas de sus aplicaciones en la industria

SELECCIÓN DE MECANISMOS		
FUENTE DE POTENCIA	**TIPOS DE MECANISMOS**	**APLICACIONES**
Rotatorio	**Levas y seguidores**	Tren de válvulas automotrices
Motor eléctrico	Leva de placa	Mecanismo indexador
Motor CA	Leva cilíndrica	Transmisiones de velocidad variable
Motor CD	Seguidor de rodillo	Actuadores de ventana
Servomotores	**Trenes de Engranaje**	Mecanismo de limpiador de parabrisas
Motores a pasos	Cilíndrico	Mecanismo de alerón de ala
Motores engranados	Helicoidal	Dispositivos prostéticos
Lineal	Planetarios	Mecanismo para corte continuo de papel
Cilindro neumático	Tornillo sin fin	Mecanismo de embrague
Cilindro hidráulico	**Bandas, cuerdas y poleas**	Mecanismo de freno
Tornillos de bola	Transmisión de cadena	Suspensión de ruedas
Manual	Transmisión dentada	Diferencial
Palanca	**Eslabonamientos**	Reductores de velocidad
Manivela	4 barras	Motor de carrera variable
Almacenamiento /liberación de energía	Mecanismo pistón-manivela	Mecanismo de tren de aterrizaje
Volantes	6 barras	Mecanismo obturador
Resortes	N barras	Mecanismo de sujeción
Bandas de hule	**Mecanismos trinquete y detención**	Mecanismo alimentador
Músculos	Mecanismos de tornillo	Cargado frontal

2.15 Esfuerzo y deformación

2.15.1 Esfuerzo

El **esfuerzo** se define como la fuerza por unidad de área en unidades **psi** o **Mpa**, (Ver Ecuación 2.1). En un elemento sometido a ciertas fuerzas, por lo general el esfuerzo se distribuye como una función que varía constantemente dentro del continuo del material [9]. Cada elemento infinitesimal del material puede experimentar esfuerzos diferentes al mismo tiempo. Por consiguiente, se deben visualizar los esfuerzos que actúan sobre elementos pequeños evanescentes dentro de la pieza [10].

$$\sigma_t = \frac{F}{A} \tag{2.1}$$

Donde: $\boldsymbol{\sigma_t}$ es el esfuerzo de tensión; $\boldsymbol{F}$ es fuerza aplicada; $\boldsymbol{A}$ es área de sección transversal

Los **esfuerzos normales** actúan de forma perpendicular (es decir, normalmente) a la cara del cubo y tienden a jalarla hacia afuera (esfuerzo normal de tensión) o empujarla hacia adentro (esfuerzo normal de compresión). Los **esfuerzos cortantes** actúan paralelo a las caras de los cubos, en pares (parejas) sobre caras opuestas, lo cual tiende a distorsionar el cubo en una forma de romboide. Esto es lo mismo que tomar las dos piezas de pan de un sándwich de mermelada y deslizarlos en direcciones opuestas. Como consecuencia de ello, se cortará la mermelada. Tales componentes de los esfuerzos normal y cortante que actúan sobre un elemento infinitesimal dan como resultado un tensor. El esfuerzo es un tensor de segundo orden y requiere nueve valores o componentes para describirlo en tres dimensiones. Un tensor de esfuerzo en tres dimensiones (Ver Ecuación 2.2) se expresa como la matriz:

$$\begin{bmatrix} \sigma_{xx} & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{yx} & \sigma_{yy} & \tau_{yz} \\ \tau_{zx} & \tau_{zy} & \sigma_{zz} \end{bmatrix} \tag{2.2}$$

donde la notación para cada componente del esfuerzo contiene tres elementos: una magnitud (σ o τ), la dirección de la normal a la superficie de referencia (primer subíndice) y la dirección de acción (segundo subíndice). Se usará σ para referirnos a los esfuerzos normales, y τ para los esfuerzos cortantes. Muchos elementos de máquinas están sujetos a estados de esfuerzo tridimensionales y, por lo tanto, requieren la aplicación del tensor de esfuerzo. Sin embargo, hay algunos casos especiales, los cuales se pueden tratar como estados de esfuerzos bidimensionales (Ver Ecuación 2.3). El tensor de esfuerzo para dos dimensiones es:

$$\begin{bmatrix} \sigma_{xx} & \tau_{xy} \\ \tau_{yx} & \sigma_{yy} \end{bmatrix} \tag{2.3}$$

La Figura 2.18 ilustra un cubo infinitesimal de material tomado del interior del continuo de la parte que se somete a algunos esfuerzos de tres dimensiones. Las caras de este cubo infinitesimal son paralelas a un conjunto de ejes *x, y, z* establecidos con alguna orientación conveniente. La cara *x* tiene su normal de superficie paralela al eje *x*, etcétera. Por consiguiente, hay dos caras *x*, dos caras *y* y dos caras *z*, siendo una de ellas positiva y la otra negativa, como lo define el sentido de su vector normal de superficie.

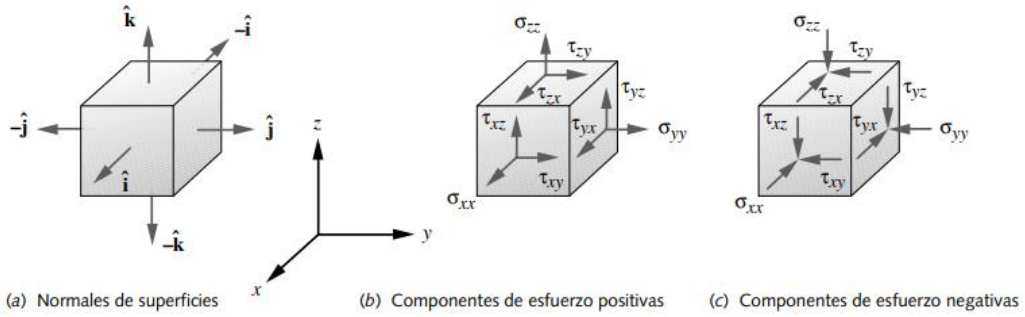


Figura 2.18. a) Normales a superficies, b) Componentes de esfuerzo positivas, c) Componentes de esfuerzo negativas.

Para el caso bidimensional, tan sólo se dibuja una cara del cubo de esfuerzo. Si se conservan las direcciones *x* y *y* y se elimina *z*, se observa la normal al plano *xy* del cubo de la Figura 2.18 y se ven los esfuerzos de la Figura 2.19, que actúan sobre las caras ocultas del cubo.

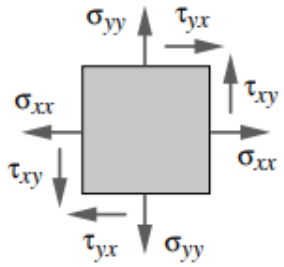


Figura 2.19 Elemento de esfuerzo bidimensional

Observe que la definición de la notación de los subíndices dobles es consistente cuando se aplica a esfuerzos normales. Por ejemplo, el esfuerzo normal σ_{xx} actúa sobre la cara *x* y también en la dirección de *x*. Puesto que los subíndices simplemente se repiten para esfuerzos normales, es común eliminar uno de ellos y referirse a las componentes normales simplemente como σ_x, σ_y y σ_z. También puede demostrarse que el tensor de esfuerzo es simétrico, lo cual significa que:

$$\begin{aligned} \tau_{xy} &= \tau_{yx} \\ \tau_{yz} &= \tau_{zy} \\ \tau_{zx} &= \tau_{xz} \end{aligned} \tag{2.4}$$

Esto reduce el número de las componentes de esfuerzo a calcular (Ver Ecuación 2.4).

2.15.2 Deformación unitaria

El esfuerzo y la deformación unitaria están linealmente relacionados por la ley de Hooke, en la región elástica de la mayoría de los materiales para ingeniería. La deformación unitaria es también un tensor de segundo orden, y para el caso tridimensional (Ver Ecuación 2.5) se expresa como:

$$\begin{bmatrix} \varepsilon_{xx} & \varepsilon_{xy} & \varepsilon_{xz} \\ \varepsilon_{yx} & \varepsilon_{yy} & \varepsilon_{yz} \\ \varepsilon_{zx} & \varepsilon_{zy} & \varepsilon_{zz} \end{bmatrix} \tag{2.5}$$

Y para el caso bidimensional (Ver Ecuación 2.6).

$$\begin{bmatrix} \varepsilon_{xx} & \varepsilon_{xy} \\ \varepsilon_{yx} & \varepsilon_{yy} \end{bmatrix} \tag{2.6}$$

Dónde: ε_{xx} y ε_{yy} representan las deformaciones longitudinal y normal; ε_{xy} y ε_{yx} son deformaciones unitarias cortante.

2.15.3 Ley de Hooke

En física, la **ley de elasticidad de Hooke** o **ley de Hooke**, (Ver Ecuación 2.7), originalmente formulada para casos de estiramiento longitudinal, establece que el alargamiento unitario que experimenta un cuerpo elástico es directamente proporcional a la fuerza aplicada sobre el mismo.

$$\sigma_e = E * \varepsilon_e \tag{2.7}$$

Dónde: $\boldsymbol{\sigma_e}$ es el límite en la zona elástica, $\boldsymbol{E}$ es el módulo de Young y $\boldsymbol{\varepsilon_e}$ es el alargamiento o deformación unitaria en la zona elástica.

Gran parte de las estructuras de ingeniería son diseñadas para sufrir deformaciones pequeñas, se involucran solo en la recta del diagrama de esfuerzo y deformación. De tal forma que la deformación $\boldsymbol{\varepsilon_e}$ es una cantidad adimensional, el módulo E se expresa en las mismas unidades que el esfuerzo σ (unidades **Pa**, **psi** y **ksi**). El máximo valor del esfuerzo para el que puede emplearse la ley de Hooke en un material es conocido como límite de proporcionalidad de un material. En este caso, los materiales dúctiles que poseen un punto de cedencia definido; en ciertos materiales no puede definirse la proporcionalidad de cedencia fácilmente, ya que es difícil determinar con precisión el valor del esfuerzo σ para el que la relación entre $\boldsymbol{\sigma}$ y $\boldsymbol{\varepsilon_e}$ deje de ser lineal. Al utilizar la ley de Hooke en valores mayores que el límite de proporcionalidad no conducirá a ningún error significativo. En resistencia de materiales se involucra en las propiedades físicas de materiales, como resistencia, ductilidad y resistencia de corrosión; que pueden afectarse debido a la aleación, el tratamiento térmico y el proceso de manufactura.

2.15.4 Máxima tensión de von Mises

El criterio de máxima tensión de von Mises se basa en la teoría de von Mises-Hencky, también conocida como teoría de la energía de cortadura o teoría de la energía de distorsión máxima, (Ver Ecuación 2.8). En términos de las tensiones principales s_1, s_2 y s_3, la tensión de von Mises se expresa de la siguiente manera:

$$s_{vonMises} = \{[(s_1 - s_2)^2 + (s_2 - s_3)^2 + (s_1 - s_3)^2]/2\}^{(1/2)} \quad (2.8)$$

La teoría expone que un material dúctil comienza a ceder en una ubicación cuando la tensión de von Mises es igual al límite de tensión. En la mayoría de los casos, el límite elástico se utiliza como el límite de tensión, (Ver Ecuación 2.9). Sin embargo, el software le permite utilizar el límite de tensión de tracción/ruptura o establecer su propio límite de tensión.

$$s_{vonMises} \geq s_{limit} \tag{2.9}$$

El límite elástico es una propiedad dependiente de la temperatura. Este valor especificado del límite elástico debe considerar la temperatura del componente. El factor de seguridad, (Ver Ecuación 2.10), en una ubicación se calcula a partir de:

$$\text{Factor de seguridad (FDS)} = s_{limit} / s_{vonMises} \tag{2.10}$$

2.16 Diseño Asistido por Computadora CAD

La disciplina del diseño asistido por computadora ha alcanzado un grado de madurez e importancia tal que justifica su inclusión en cualquier proyecto que se realiza en la industria. El software CAD se utiliza para aumentar la productividad del diseñador, mejorar la calidad del diseño, mejorar las comunicaciones a través de la documentación y crear una base de datos para la fabricación.

La salida CAD a menudo se presenta en forma de archivos electrónicos para impresión, mecanizado u otras operaciones de fabricación. También se puede considerar al CAD como una técnica de dibujo. Estas herramientas se pueden dividir básicamente en programas de dibujo 2D y de modelado 3D.

Las herramientas de dibujo en 2D se basan en entidades geométricas vectoriales como puntos, líneas, arcos y polígonos, con las que se puede operar a través de una interfaz gráfica, (Ver Figura 2.20). Los modeladores en 3D añaden superficies y sólidos.

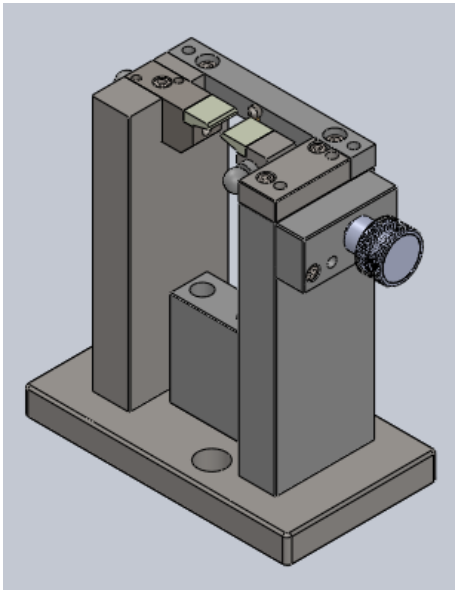


Figura 2.20. Fixture de marcado para la industria arnesera modelado en Solidworks

El usuario puede asociar a cada entidad una serie de propiedades como color, capa, estilo de línea, nombre, definición geométrica, material, etc., que permiten manejar la información de forma lógica. A menudo se prefiere exportar los modelos a programas especializados en visualización y animación, como **Autodesk Maya**, **Autodesk Inventor**, **Rhinoceros 3D**, **SolidWorks**, Bentley MicroStation, **Softimage XSI o Cinema 4D** y la alternativa libre y gratuita **Blender**, capaz de modelar, animar y realizar videojuegos.

CAPÍTULO III

DESARROLLO

En esta sección se describe el procedimiento para el diseño, fabricación e implementación de un alimentador automático de material para una cortadora de tipo sierra cinta. Al diseñar un mecanismo para realizar una determinada tarea se suele seguir el siguiente procedimiento:

1. En primer lugar, se realiza un diseño conceptual en el que se escoge el tipo de máquina o mecanismo que se va a utilizar. Aquí se seleccionará, por ejemplo, la forma de la estructura y la disposición que se tendrá con respecto a la máquina de corte. Quizá sea esta la parte más difícil, puesto que no hay reglas fijas, sino que se basa principalmente en la experiencia y el ingenio.

2. Después, se comienza con un modelado 3d que ayuda a la visualización de componentes y crea una idea más clara de lo que se está haciendo.

3. Posteriormente, una vez decidida la forma general de la máquina, se realiza un análisis estructural para determinar si el material y la forma de la carcasa principal de la estructura soportará los esfuerzos y deformaciones que la carga máxima le va a demandar, se puede apoyar del mismo software de diseño mecánico donde se realizará el modelado 3d.

3.1 Conceptualización

Se determinó que el prototipo que se requiere por parte de la empresa es una máquina alimentadora de material metálico/plástico, que va a ser acoplada a una máquina de corte de tipo sierra cinta, la cual necesita de este dispositivo debido a que se pierde dinero y tiempo en medir las piezas de una por una para ser cortadas, sobre todo si la demanda de piezas a cortar es alta.

Se presentó un modelo 3d a manera de bosquejo de la máquina que necesita la empresa, y de común acuerdo se dio luz verde para realizar el proyecto.

3.2 Diseño mecánico

El diseño mecánico es el proceso de dar forma, dimensiones, materiales, tecnología de fabricación y funcionamiento de una máquina para que cumpla unas determinadas funciones o necesidades.

Para este proyecto se deben tomar en cuenta 3 puntos principales para la construcción de la máquina: en primer lugar, el tipo de alimentador; en segundo, los materiales a utilizar y, por último, que sea una máquina compacta y de fácil mantenimiento. Por ello, se establecerá un criterio de selección para facilitar la toma de decisiones de los componentes y forma de la estructura de la dicha máquina.

3.2.1 Selección del tipo de alimentador

En este punto, se toma en cuenta el aspecto físico-económico, así como la facilidad de instalación y mantenimiento según las características de cada tipo, como se mencionó anteriormente. Para este fin, se evaluarán las alternativas antes propuestas en la Tabla 3.1, y desde tres puntos de comparación diferentes, donde a cada propuesta se le asigna un valor de 1 a 5, según cómo satisfaga la propuesta al punto en mención, será 1 malo y 5 excelente. A los mencionados puntos, también se les asignará un peso de 1 al 5, según la importancia que tengan dentro del desarrollo del proyecto, el mismo que será denominado como "Factor de Ponderación", será 1 importante, 2 muy importante y 3 imprescindible. Se realizó una ponderación que nos ayudó para la selección del tipo alimentador. (ver Tabla 3.2)

Tabla 3.1. Comparativa de los diferentes tipos de alimentadores existentes

CARACTERÍSTICAS	HIDRODINÁMICO /HIDROSTÁTICO	TAMBOR-LEVA	POR MORDAZAS
Espacio físico	5m largo x 2 m de ancho, aprox.	3m largo x 1.5 m de ancho, aprox.	2m largo x 1 m de ancho, aprox.
Estructura	Muy compleja	Compleja	Sencilla
Costo	Alto costo de construcción, instalación y mantenimiento	Mediano costo de construcción, instalación y mantenimiento	Bajo costo de construcción, instalación y mantenimiento

Tabla 3.2. Tabla de toma de decisiones para la selección del tipo de alimentador

PUNTOS DE EVALUACIÓN	PONDERACIÓN (f)	PUNTAJE (p)			
		HIDRODINÁMICO/ HIDROSTÁTICO	TAMBOR-LEVA	POR MORDAZAS	PUNTAJE IDEAL
Espacio físico	3	2	4	5	5
Estructura	2	1	2	3	5
Costo	1	1	3	4	5
	TOTAL = ∑(f*p)	**9**	**19**	**25**	**30**
	VALIDACIÓN (%)	**30.00**	**63.33**	**83.33**	**100**

Por lo que se tomó la decisión de seleccionar el **alimentador por mordazas**.

3.2.2 Selección de materiales

La mayoría de los métodos parten de la disponibilidad de una amplia gama de materiales, los cuales se debe entrar a analizar y refinar, ya sea con ayuda de: recomendaciones (métodos tradicionales), mapas de materiales (método gráfico) o información escrita que se encuentran en fuentes bibliográficas o en forma de software en bases de datos virtuales. En general, el refinamiento se hace de acuerdo con las propiedades exigidas por el componente a diseñar y sustentado con criterios como: disponibilidad, facilidad de obtención, vida de servicio, factores ambientales y costos, entre otros

Cabe mencionar, que para la utilización de cualquiera de los métodos de selección de materiales que existen, el diseñador o ingeniero de materiales, debe partir de la etapa conceptual, en la cual se identifica una categoría o categorías muy amplias como posibles materiales a usar. En la siguiente figura se muestran los distintos criterios que el diseñador toma en cuenta para la selección de los materiales que necesita para realizar cualquier proyecto de ingeniería (ver Figura 3.1).

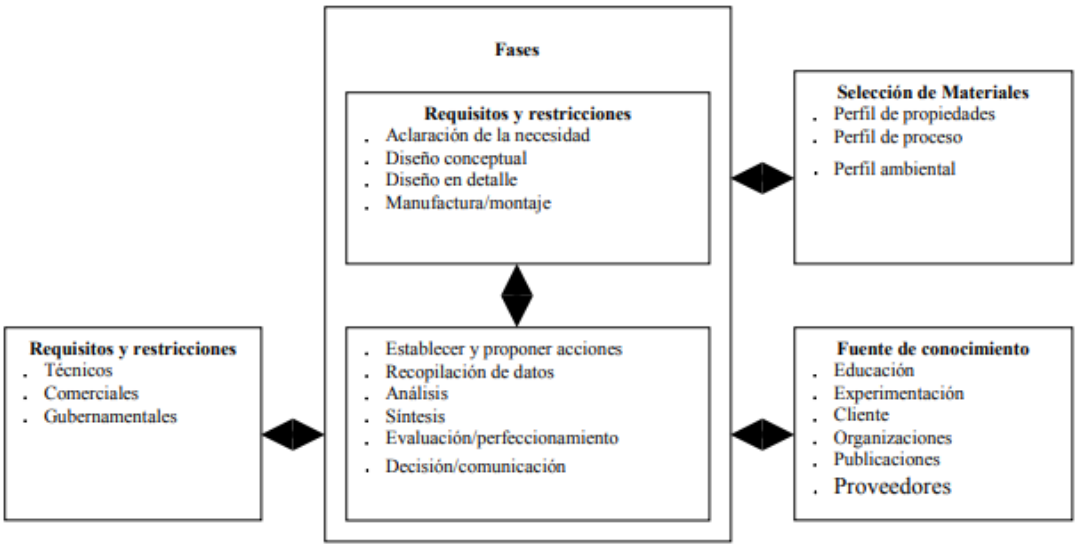


Figura 3.1. Etapas del procedimiento para la selección de materiales

Un diseñador de materiales siempre está queriendo encontrar el material ideal para su componente. Se pueden mencionar, entre otras características, que un material ideal cumple con la siguiente lista de requisitos: Inagotable y siempre disponible para su reemplazo, que sea barato para refinar y producir, que sea fuerte, rígido, (Ver Figura 3.2) y dimensionalmente estable a diferentes temperaturas, (Ver Figura 3.3), que sea liviano, que sea resistente a la corrosión y al desgaste, que no tenga efectos sobre el medio ambiente o las personas, que sea biodegradable, que tenga numerosos usos, etc.

Propiedades sensibles a la microestructura
Resistencia, . (a la fluencia, a la tracción, última, etc)
Ductilidad
Tenacidad a la fractura, Kic
Fatiga y propiedades cíclicas, fatiga por corrosión
Termofluencia
Impacto
Dureza

Figura 3.2. Propiedades sensibles a la microestructura

Propiedades insensibles a la microestructura
Densidad, .
Módulo de elasticidad, E
Conductividad térmica
Coeficiente de expansión térmica lineal, .
Punto de fusión, Tf
Temperatura de transición vítrea, Tv para polímeros
Corrosión uniforme, mm/año
Costo por unidad de masa

Figura 3.3. Propiedades insensibles a la microestructura.

Debido al alto número de factores que afectan la selección de materiales, el diseñador determina cuales son las propiedades más relevantes para la aplicación que se tiene y con base en ellas, hace la selección.

En general los métodos para seleccionar materiales hacen una refinación más o menos amplia de estos parámetros. Los parámetros principales tomados en cuenta para este proyecto son: la resistencia, la ductilidad y la fatiga.

3.2.3 Selección de los elementos principales del alimentador

La selección de los componentes principales del alimentador fue de suma importancia para poder tener una idea clara de la forma, tipo de movimiento y dimensiones que la máquina iba a tener, así como para tener un costo aproximado para su fabricación. Uno de los elementos principales del sistema es el pistón hidráulico que va a dar el movimiento de recorrido a la prensa de alimentación.

3.2.3.1 Pistón hidráulico

La fuerza de **compresión** para un cilindro se calcula como:

$$F = \frac{P * \pi * dcompresion^2}{400} \tag{3.1}$$

Las unidades de presión están dadas en **Bares** y el diámetro en **cm²,** por tanto, la fuerza quedará representada en **KN.**

La fuerza de **tracción** para un cilindro está dada por:

$$F = \frac{P * \pi * [dcompresion^2 - dtraccion^2]}{400} \tag{3.2}$$

De igual manera en la Ecuación 3.2 las unidades están dadas en **Bares** y el diámetro en **cm²,** por tanto, la fuerza quedará representada en **KN.**

Para calcular la fuerza se tomaron como datos de presión (P) a la entregada por una bomba que se tiene en la empresa, la cual, nos da una **P = 35 Bar** además de un pistón que se quiere reutilizar por parte de la empresa el cuál es **d = 5.08cm** y vástago de **3.6cm**.

Sustituyendo en la Ecuación 3.1 para la calcular la fuerza de compresión se tiene:

$$F = \frac{(35) * \pi * (5.08)^2}{400}$$

$$F = 7.09KN$$

Convirtiendo a **Kgf** queda:

$$F = 722.97Kgf$$

Sustituyendo en la Ecuación 3.2, para calcular la fuerza de tracción se tiene:

$$F = \frac{(35) * \pi * [(5.08)^2 - (3.6^2)]}{400}$$

$$F = 3.53KN$$

Convirtiendo a **Kgf** queda:

$$F = 359.95Kgf$$

Debido a que la carga máxima que se tendrá en el alimentador es de aprox. 350 Kg, los datos obtenidos para el cilindro nos dan la seguridad que servirá para la aplicación que necesitamos, por ello, se tomó la decisión de seleccionar el siguiente pistón:

Pistón hidráulico Parker de **700mm** de carrera y un émbolo de **2”** equivalentes a **5.08cm**

3.2.3.2 Sistema de tope para posicionamiento automático

Se tomó la decisión de diseñar un sistema que se pudiera posicionar automáticamente en la posición deseada para que la prensa de alimentación de tope en ese punto y así colocar la pieza a cortar en la posición deseada. Primeramente, debemos realizar el cálculo de la carga dinámica que viene dada por la ecuación:

$$F = m_{tope} * g \tag{3.3}$$

Donde se toman en cuenta la masa del tope (Ver Figura 3.4), el cual, según el software Solidworks tiene una **m= 7.8 Kg** y la aceleración de la gravedad se tomará como **9.806 m/s²**

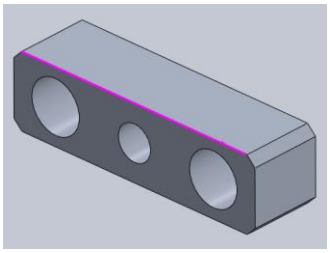


Figura 3.4. Carro tope de aluminio para posicionamiento

El cual pertenece al ensamble de la mesa de alimentación (Ver Figura 3.5):

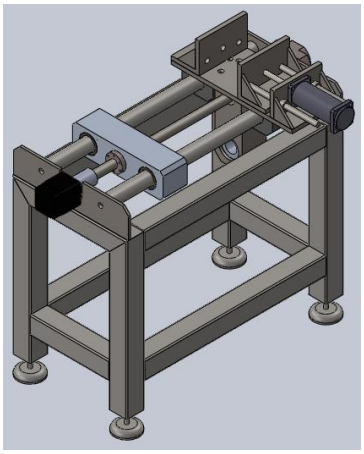


Figura 3.5. Mesa de alimentación

Retomando la ecuación 3.3 y sustituyendo, se tiene:

$$F = (7.88) * (9.806)$$

$$F = 77.27N$$

Posteriormente, se determina el **diámetro del husillo** que se va a utilizar en el sistema, el cual, se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$d_{husillo} = \sqrt[3]{\frac{I * 64}{\pi}} \tag{3.4}$$

Donde:

I = Momento de inercia

El **momento de inercia** se calcula mediante:

$$I = \frac{F * L^2 * S}{\pi^2 * E} \tag{3.5}$$

Dónde: *F* es Carga dinámica (**N**); *L* es Longitud del husillo (**mm**); *S* es Factor de seguridad, para este problema es recomendado utilizar un **3;** *E* es Módulo de Young del material del husillo (**N/mm²**)

Sustituyendo en la ecuación 3.5, queda:

$$I = \frac{(77.27) * (831.85)^2 * (3)}{\pi^2 * (210000)}$$

$$I = 243.23mm^4$$

Volvemos a la Ecuación 3.4 y sustituimos el valor de **I** para calcular el diámetro del husillo:

$$d_{husillo} = \sqrt[3]{\frac{(243.23) * 64}{\pi}}$$

$$d_{husillo} = 17.04mm$$

Obteniendo el diámetro podemos seleccionar un diámetro comercial que sea cercano al diámetro calculado, el cual, en este caso, seleccionaremos un **husillo de bolas** de la marca **Thomson** con diámetro de **20mm** y un rendimiento del **0.9**, el más alto en sistemas de posicionamiento.

Husillo de bolas

Diámetro	Avance	Longitud roscada	Número de parte	Precio de lista*	Plazo	
20 mm	5 mm	780 mm	**RM2005-780.0-XXX-XX-XX**	$136.40	3 Días	CAD

Figura 3.6. Selección del husillo para el sistema de tope automático

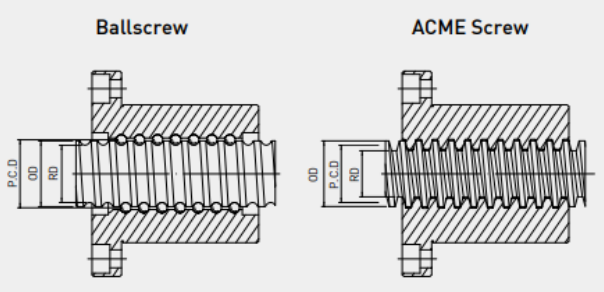


Figura 3.7. Husillo de bolas vs Husillo ACME

Finalmente, se calcula el torque necesario para mover el sistema, y su ecuación es la siguiente:

$$T_{tope} = \frac{F * Avance_{husillo}}{2\pi * \eta_{sistema}} + ML \quad (3.6)$$

Dónde: ***F*** es Carga dinámica (**N**); Avance del husillo (**mm**); **η** es Eficiencia del sistema (**%**) (Ver tablas); **ML** es Par de marcha en vacío (**Nm**) (Ver tablas). Sustituyendo en la Ecuación 3.6, se tiene:

$$T_{tope} = \frac{(77.27) * (0.005)}{2\pi * (0.9)_{sistema}} + 0.56$$

$$T_{tope} = 0.62Nm$$

Podemos seleccionar un motor comercial con ese torque específico, por ello, tomamos la decisión de seleccionar un motor a pasos **NEMA23** que nos da torques de **1.9 Nm**

NEMA 23 Stepper Motor Specifications

- Voltage Rating: 3.2V
- Current Rating: 2.8A
- Holding Torque: 270 oz. in
- Step Angle: 1.8 deg.
- Steps Per Revolution: 200
- No. of Phases: 4
- Motor Length: 3.1 inches
- No. of Leads: 4
- Inductance Per Phase: 3.6mH



Figura 3.8. Motor a pasos Nema 23

3.2.4 Propuesta 3d inicial

En esta etapa se va a realizar el modelado 3D del alimentador automático, para agregar las propiedades mecánicas y dimensiones generales que se establecieron en la conceptualización del proyecto, con previa autorización y común acuerdo entre la empresa y el equipo de trabajo de este proyecto. A continuación, se describe brevemente cada uno de los componentes principales de la máquina:

1. **Cama de rodillos.** Esta estructura está pensada para que soporte la mayor cantidad de carga posible del material que se colocará encima de ella el cuál se deslizara sobre la misma (ver Figura 3.9).

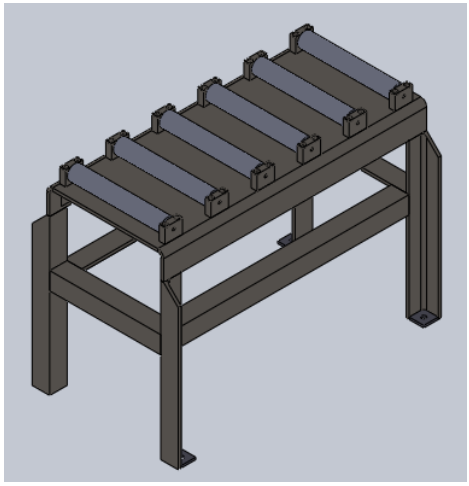


Figura 3.9. Mesa de rodillos

2. **Base de alimentación**. Esta estructura es la que soportará la prensa de alimentación y permitirá el recorrido de esta mediante dos guías de acero para el deslizamiento de la prensa (ver Figura 3.10).

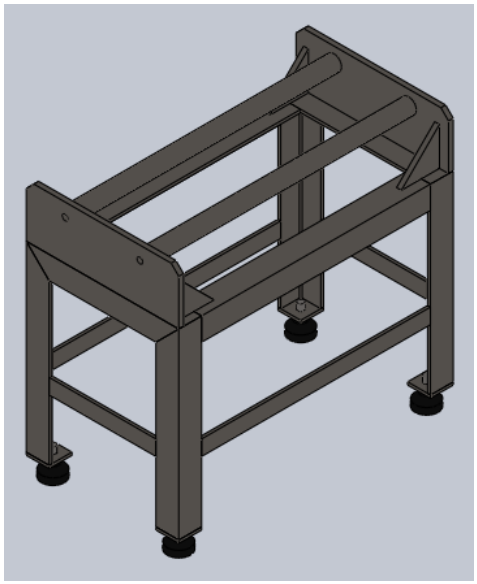


Figura 3.10. Base para alimentación

3. **Prensa de alimentación.** La prensa de alimentación servirá para sujetar al material y desplazarlo hacia la prensa de corte de la máquina sierra cinta con la medida específica de corte (ver Figura 3.11).

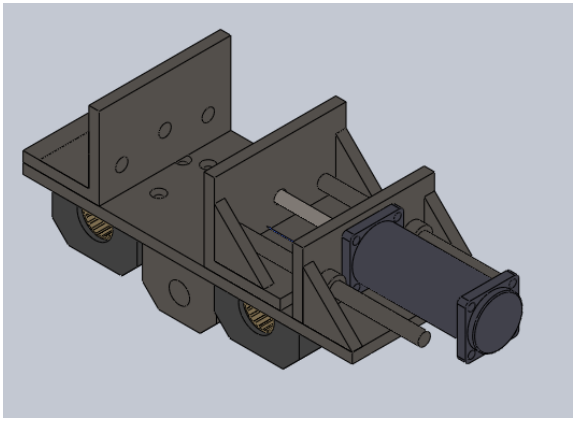


Figura. 3.11. Prensa de alimentación

4. **Pistón Parker de 700 mm de carrera.** El pistón va a realizar la función de mover tanto la prensa de alimentación como el material a cortar y posicionarlo hasta una distancia específica de corte para la sierra cinta (ver Figura 3.12).

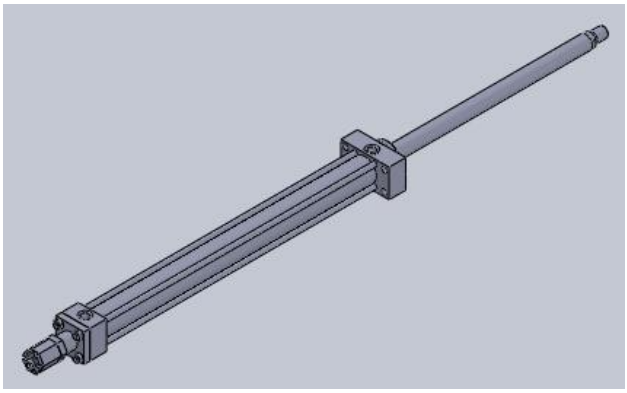


Figura 3.12. Pistón Parker 700mm de carrera

3.2.5 Simulaciones

El estudio y la simulación del comportamiento de las estructuras en su evolución hasta el colapso es un tema de interés en la ingeniería estructural para conocer su condición estructural después de alcanzar la carga última, la cual depende principalmente del comportamiento constitutivo de los materiales con los que está construida. Durante el proceso de carga de una estructura hasta el colapso, parte de la energía de deformación acumulada se libera mediante el desarrollo de discontinuidades, las cuales se presentan como grietas, fracturas o líneas de deslizamiento, lo que depende del material del que está construida.

3.2.5.1 Von Mises

La tensión de **Von Mises** es una magnitud física proporcional a la energía de distorsión. En ingeniería estructural se usa en el contexto de las teorías de fallo como indicador de un buen diseño para materiales dúctiles. Se realizó la prueba de deformación estática la cual fue aplicada a un material de acero ASTM A36. En la Figura 3.13 se muestran los resultados obtenidos referentes a la tensión de Von Mises en la cama de rodillos del alimentador automático.

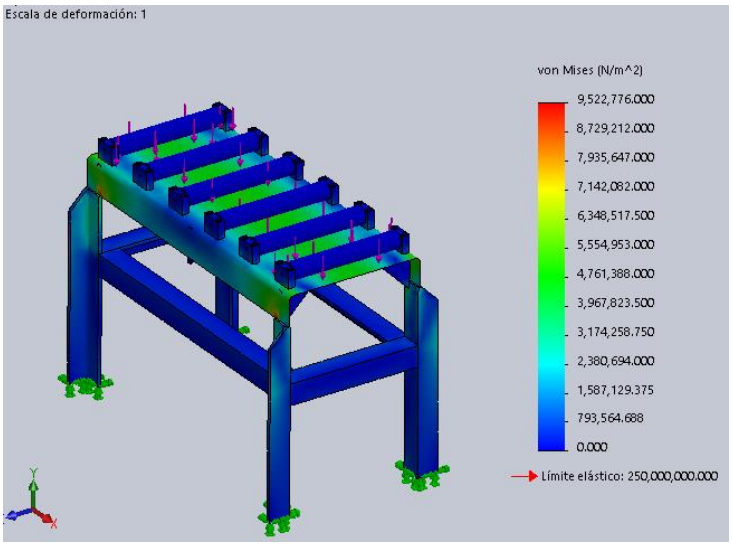


Figura 3.13. Simulación de esfuerzo Von Mises en la cama de rodillos

3.2.5.2 Desplazamientos

Los elementos de una estructura deben de soportar, además de su propio peso, otras fuerzas y cargas exteriores que actúan sobre ellos. Dependiendo de su posición dentro de la estructura y del tipo de fuerzas que actúan sobre ellos, los elementos o piezas de las estructuras soportan diferentes tipos de esfuerzos. Una fuerza sobre un objeto tiende a deformarlo, la deformación producida dependerá de la dirección, sentido y punto de aplicación donde esté colocada esa fuerza. En la Figura 3.14, se muestran los desplazamientos obtenidos mediante el análisis estático realizado en el software de diseño mecánico, Solidworks.

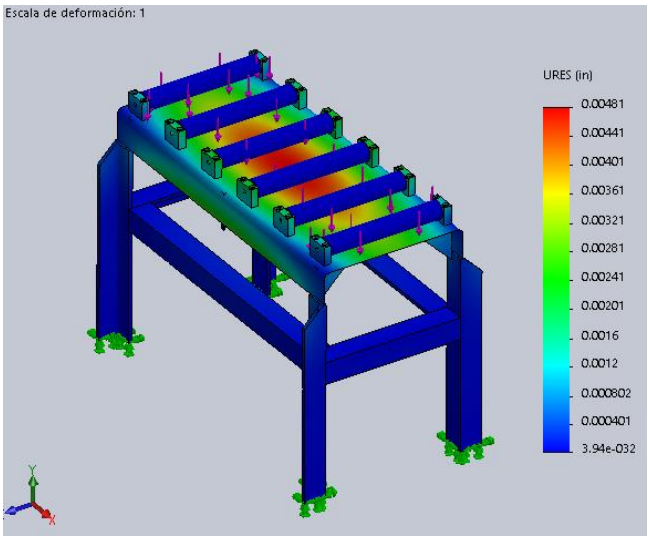


Figura 3.14. Simulación de desplazamientos en la cama de rodillos.

El desplazamiento máximo de la placa que soporta los rodillos fue de 0.004 milésimas de pulgada, la cual, en la práctica, no presentará fallas en la estructura.

3.2.5.3 Ensamblaje principal

En la Figura 3.15. se muestra el ensamble general de la estructura propuesta para el alimentador automático:

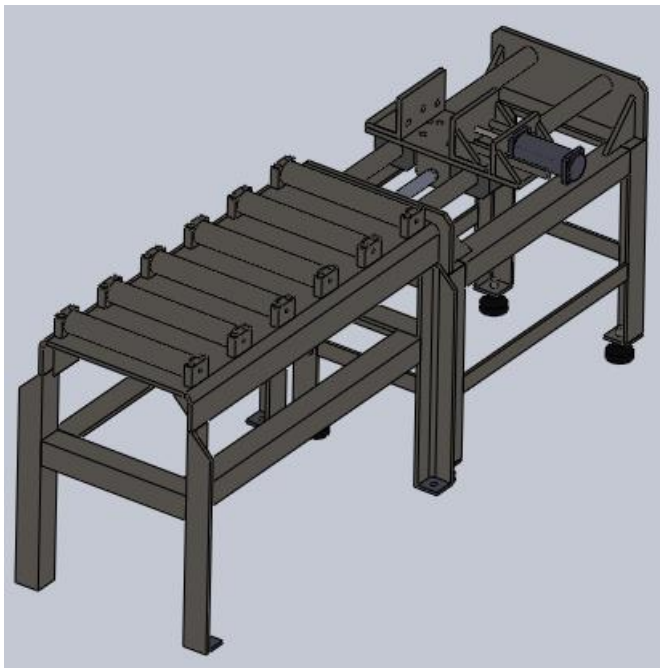


Figura 3.15. Ensamble principal en Solidworks

3.3 Control y automatización

El término automatización se refiere a una amplia variedad de sistemas y procesos que operan con mínima o sin intervención del ser humano. En los sistemas más modernos de automatización, el control de las máquinas es realizado por ellas mismas gracias a diferentes tipos de sensores que les permiten percibir cambios en sus alrededores involucrando ciertas condiciones o criterios, tales como, temperatura, volumen, presión, etc., esto permite a las máquinas hacer los ajustes necesarios para compensar dichos cambios y garantizar su correcto funcionamiento.

3.3.1 Pre-selección de PLC

Codesys es un entorno de desarrollo para controles lógicos programables (PLC) para el desarrollo de aplicaciones en la automatización de la industria. El software gratuito de programación Codesys hecho por Festo está disponible para descargar en su página web. La comunicación punto por punto de la interfaz **IO-Link** hace posible un cableado de 3 conductores sencillo y seguro entre controlador, sensores o actuadores y también facilita, de esta manera, la parametrización a distancia. Existe una gran cantidad de dispositivos **IO-Link** en el mercado, (ver Figura 3.16).



Figura 3.16. PLC Codesys

3.3.2. Encoder lineal

Estos sistemas magneto-estrictivos de medición de posición BTL con forma de varilla tienen su aplicación más importante en accionamientos hidráulicos. Son excepcionalmente adecuados para su uso en cilindros hidráulicos para el monitoreo de la posición, en sistemas de moldeo y laminado y en sistemas de elevación. El elemento de medición se instala en un tubo resistente a la presión de acero inoxidable no magnético. La brida sella la zona de alta presión mediante una junta tórica.

Además, los componentes electrónicos están integrados en una carcasa protectora fuera del cilindro en la brida de la varilla, (ver Figura 3.17).



Figura 3.17. Disposición de un encoder linear dentro de un cilindro hidráulico

3.4 Correcciones y modificaciones de diseño

En esta etapa se realizaron cambios al diseño a petición del dueño de la empresa con el fin de reducir costos y que la automatización de la máquina sea más fácil de realizar. Con ello se llevaron a cabo las siguientes actividades, entre las que destacan varios aspectos tomados en cuenta para cumplir con los requerimientos de la empresa y completar la etapa de ingeniería de dicho proyecto.

Se reforzó la estructura de manera general, cambiando los ángulos de acero de ½”x3”x3 por PTR de 3/16”x3”x3” para darle forma a la estructura de la máquina y al mismo tiempo haciéndola más liviana. A continuación, se muestra una comparativa entre los diseños que se desarrollaron, en la Figura 3.18 se muestra la propuesta inicial que se tenía contemplada para desarrollar la máquina.

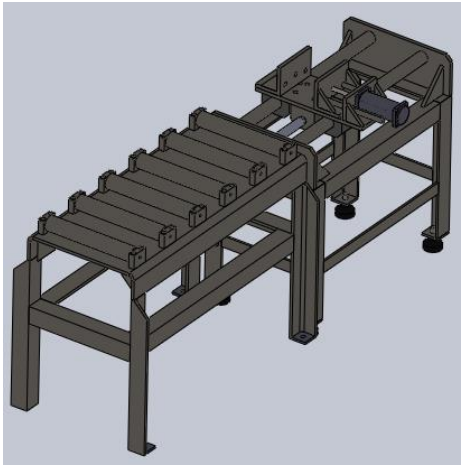


Figura 3.18. Diseño preliminar del alimentador

Por otro lado, en la Figura 3.19 se aprecia el cambio en la disposición de los elementos de la estructura, así como también el perfil del material utilizado, que en este caso es PTR. Este cambio agrega más resistencia en las uniones porque la soldadura tiene una penetración mayor comparada con las uniones que se consiguen con perfiles angulares. Esto dio como resultado que la estructura tuviera una mayor resistencia a los esfuerzos a los que va a ser sometida (ver Figura 3.20).

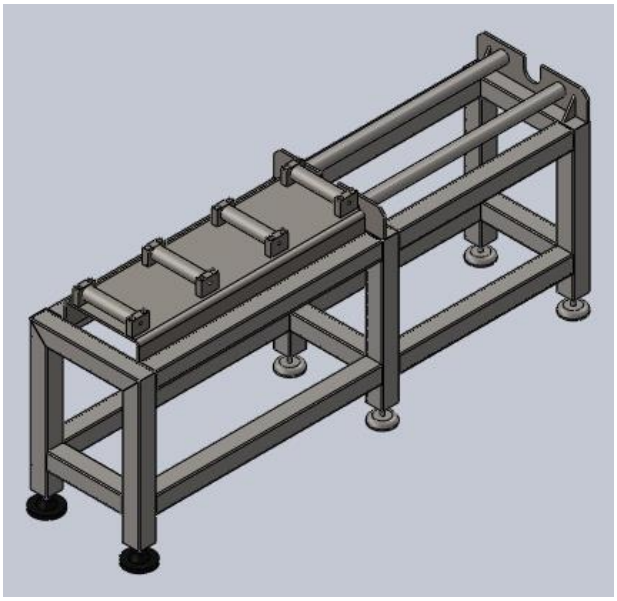


Figura 3.19. Diseño final de la estructura del alimentador

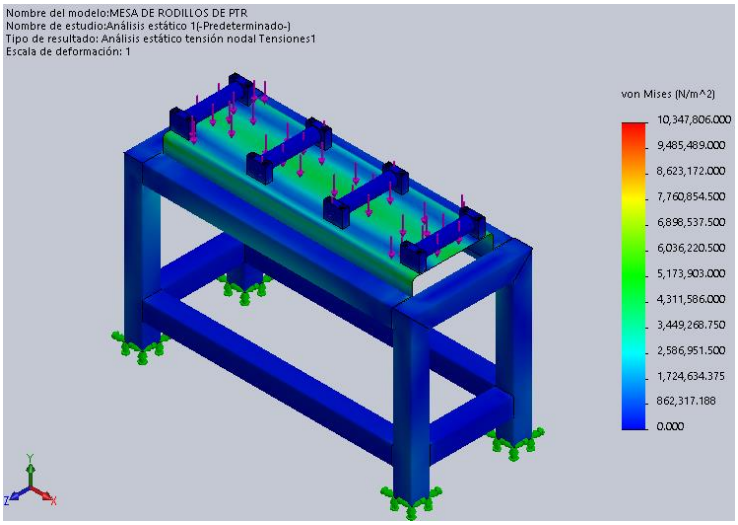


Figura 3.20. Resultados del análisis de esfuerzos von Mises

3.5 Diagrama de flujo de funcionamiento

En la parte de automatización se logró concebir la idea de la programación y la lógica de funcionamiento de la máquina mediante el uso de diagramas de flujo, (ver Figura 3.21), los cuales utilizan símbolos con significados definidos que representan los pasos del algoritmo, y representan el flujo de ejecución mediante flechas que conectan los puntos de inicio y de fin del proceso.

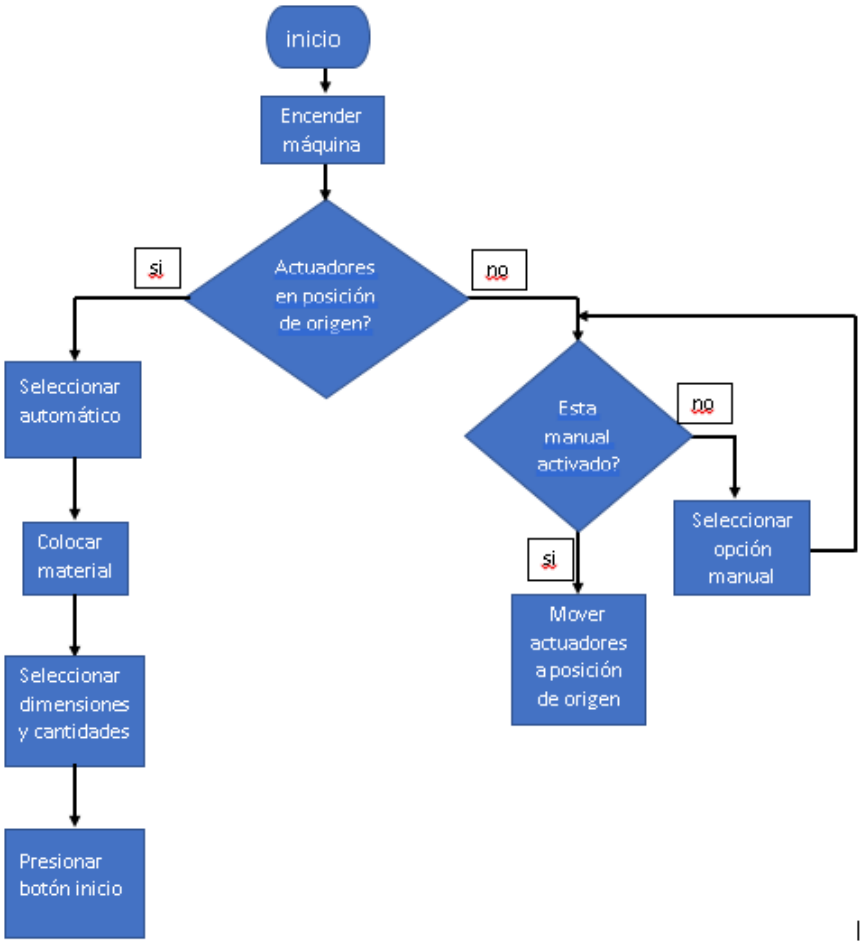


Figura 3.21. Diagrama de flujo sobre el funcionamiento del alimentador automático

3.6 Tablas de verdad

Estas tablas muestran el valor de verdad de una proposición compuesta, para cada combinación de verdad que se pueda asignar. Con esto, se pudieron definir los sensores y el control de movimiento de dicha máquina, (ver Figura 3.22).

	estado
paros de emergencia	1
MLF	0
MLB	0
PLF	0
PLB	0
hidráulico	1
cortadora Up	0
cortadora Dn	0
automático	0
manual	1
cinta encendida	0

	estado
paros de emergencia	1
MLF	0
MLB	1
PLF	1
PLB	0
hidráulico	1
cortadora Up	1
cortadora Dn	0
automático	1
manual	0
cinta encendida	1

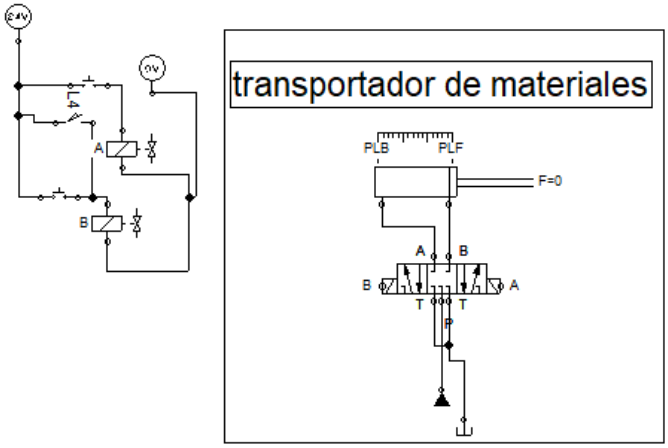
Figura 3.22. Tablas de verdad

3.7 Diagrama de funcionamiento simulado en Fluid Sim

FluidSIM es un software de apoyo de ingeniería que permite la creación, simulación, instrucción y estudio de sistemas electroneumáticos, electrohidráulicos y de circuitos digitales. Con la ayuda de este software pudimos realizar las simulaciones de los subsistemas que el alimentador automático va a tener para su correcto funcionamiento y con esto organizar el circuito de una manera más sencilla y con menos riesgo de falla.

3.7.1 Simulación de sistema de hidráulico y eléctrico

Utilizando un pistón de doble efecto con sensores limitadores de posición PLB (pistón limit back) y PLF (Pistón limit front) se controla la posición de origen y posición de corte en el pistón, el cual es piloteado por una válvula de 5/n vías con direccionamiento eléctrico y bloqueo central, (ver Figura 3.23).



Marca	Denominación del componente
	Conexión eléctrica 24 V (Ladder)
	Conexión eléctrica 0 V (Ladder)
A	Solenoide de válvula
	Pulsador (normalmente abierto, Ladder)
	Pulsador (normalmente abierto, Ladder)
B	Solenoide de válvula
	Conexión eléctrica 24 V (Ladder)
	Conexión eléctrica 0 V (Ladder)
R2	Solenoide de válvula
R1	Solenoide de válvula
PLB	Obturador
	Cilindro doble efecto
	Grupo motriz (simplificado)
	Tanque
	Válvula de 5/n vías
	Válvula limitadora de presión (precomandada)
	Cilindro doble efecto
	Grupo motriz (simplificado)
	Tanque
	Válvula de 5/n vías
	Válvula limitadora de presión (precomandada)
	Cilindro doble efecto
	Grupo motriz (simplificado)
	Tanque
	Válvula de 5/n vías
	Conexión eléctrica 24 V (Ladder)
	Conexión eléctrica 0 V (Ladder)
R4	Solenoide de válvula
R3	Solenoide de válvula
L3	Obturador
PLF	Obturador
L4	Obturador
L6	Obturador

Figura 3.23. Diagrama del circuito hidráulico y eléctrico en Fluid Sim

3.7.2 Sistema de prensa sujetadora de material acoplada a transportador

Utilizando un pistón de doble efecto con sensores limitadores L3 y L4 con indicadores de apertura y cierre de prensa piloteado por válvula de 5/n vías biestable con direccionamiento eléctrico se obtuvo el siguiente diagrama (ver Figura 3.24).

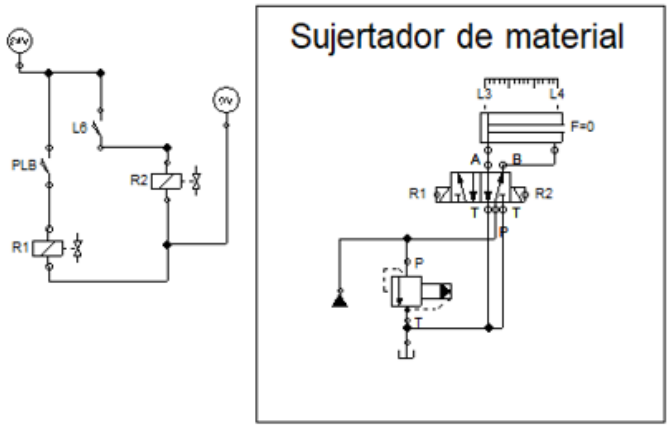


Figura 3.24. Diagrama prensa sujetadora de material acoplada al transportador

3.7.3. Sistema prensa sujetadora de material acoplada a sistema de sierra

Utilizando un pistón de doble efecto con sensores limitadores L5 y L6 con indicadores de apertura y cierre de prensa piloteado por válvula de 5/n vías biestable con direccionamiento eléctrico se obtuvo el siguiente diagrama, (ver Figura 3.25):

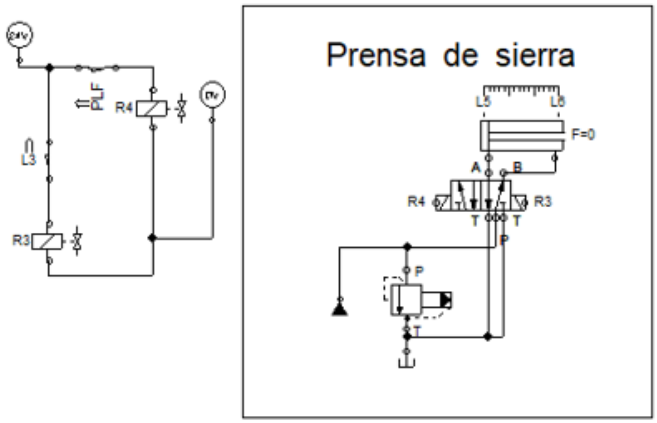


Figura 3.25. Diagrama prensa sujetadora de material acoplada a la sierra

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1 Propuesta final del modelo 3d

Se obtuvo el modelo final detallado, así como también se aprobó la propuesta de diseño por parte de la empresa “Diseño Industrial” para el modelado 3d de la máquina alimentadora (Ver Figura 4.1).

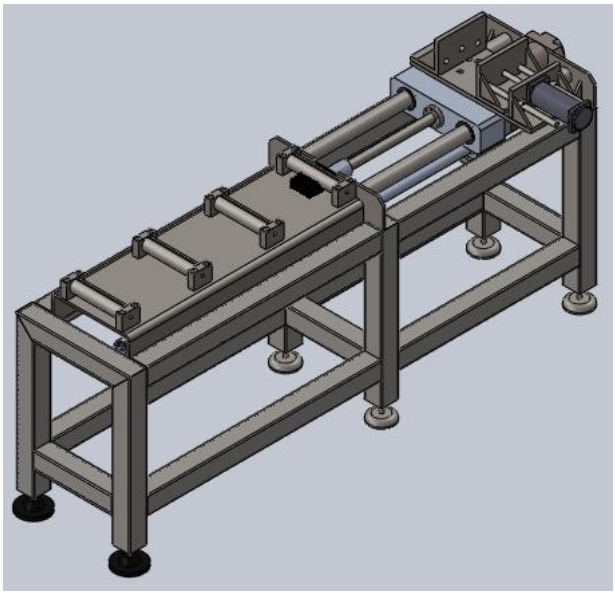


Figura 4.1 Detalle principal de alimentador automático

Primeramente, se logró obtener el modelo 3d de la estructura de soporte principal la cual fue seleccionada para que tuviera una mayor resistencia y rigidez ante las cargas que va a soportar (Ver Figura 4.2).

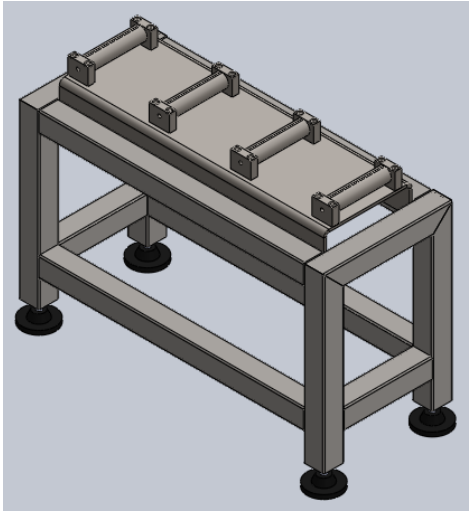


Figura 4.2 Mesa de rodillos

Sin duda la principal ventaja de utilizar un transportador de rodillos es el de repartir la carga del material que se va a colocar encima de ellos y así reducir la tensión en la estructura. Además, la disposición de los rodillos transportadores en fila permite que los objetos puedan desplazarse por los mismos sin frenarse por completo, evitando crear demasiada fricción entre el material y los rodillos, ayudando también a utilizar una menor fuerza para desplazar dicho material.

Después, se logró la propuesta 3d de la parte más crítica del proyecto, la mesa de alimentación, la cual realiza la tarea de mover la materia prima a un punto específico, el cual tendrá una distancia que será especificada mediante una programación con PLC, el cual, moverá un tope que se posicionará en la medida antes asignada por parte del operador, posteriormente, la prensa de alimentación hará su recorrido hasta el set point, que el tope le indica, para tomar el material y acercarlo a la prensa de corte de la máquina sierra cinta (Ver Figura 4.3).

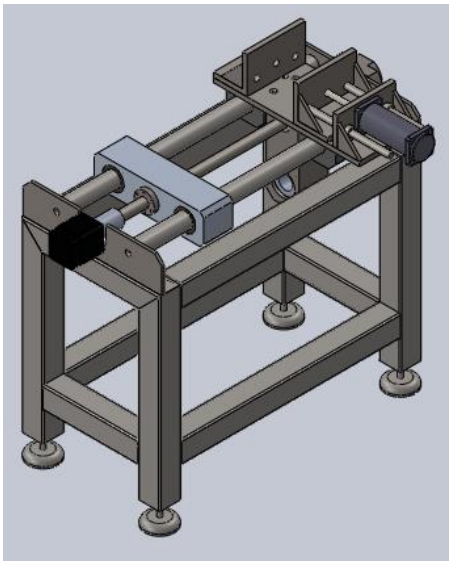


Figura 4.3 Mesa de alimentación

Se eliminó la utilización de un pistón con encoder lineal incluido, que se había cotizado previamente para el posicionamiento de la prensa de alimentación, sin embargo, debido a su alto costo y difícil programación, así como su puesta a punto. Esta situación, trajo consigo que se propusiera otra alternativa la cual funcionara de manera similar, con el objetivo de poder controlar la posición de la prensa de alimentación mediante el uso de un carro longitudinal pilotado por un motor a pasos NEMA 34 el cual se puede observar en la parte inferior izquierda de la Figura 4.4, la cual se muestra a continuación:

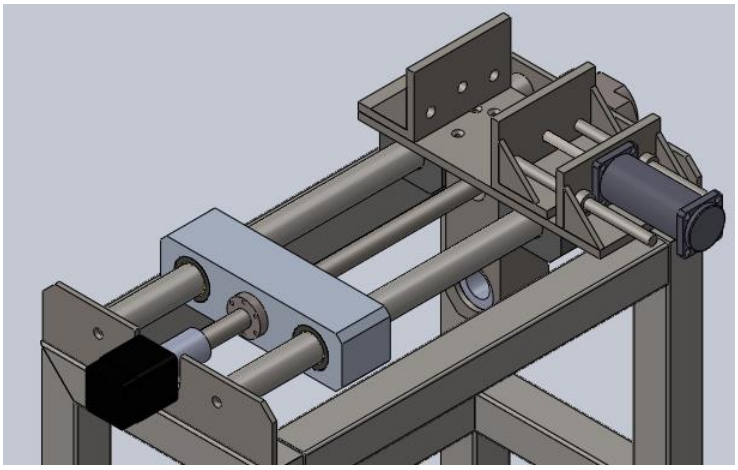


Figura 4.4. Visita isométrica de la mesa de alimentación

En la imagen anterior, también se observa la propuesta final de la sección de la mesa de alimentación la cual, está conformada por un motor a pasos, un cople flexible que une la flecha del motor con la flecha motriz del carro longitudinal de tope, así como la flecha central que es roscada tipo bola (Ball Screw), también cuenta con dos flechas que sirven de guías para mantener el movimiento lineal que realizará la prensa de alimentación y así reducir el reducir el pandeo de los elementos.

4.2 Componentes principales

A continuación, se describen algunas de las principales características de los elementos utilizados en la propuesta de diseño en el control de posición de la prensa de alimentación:

1. Motor a pasos:

Los motores paso a paso se pueden ver como motores eléctricos sin escobillas. Es típico que todos los bobinados del motor sean parte del estator, y el rotor puede ser un imán permanente o, en el caso de los motores de reluctancia variable (que luego describiremos mejor), un cilindro sólido con un mecanizado en forma de dientes (similar a un engranaje), construido con un material magnéticamente "blando" (como el hierro dulce).

Algunas de sus características principales son las siguientes:

- Carcasa: NEMA 34
- Número de fases: 2
- Ángulo por paso: 1.8°
- Voltaje recomendado: 24V ~ 60V
- Pasos por revolución: 200
- Torque: 18kg-cm

2. Cople flexible:

Este tipo de acoplamiento se utiliza principalmente en sistemas de transmisión entre dos ejes, sirven para prolongar las líneas de movimiento y también para unir tramos y absorber vibraciones de distintos ejes que no estén alineados entre sí. Las siguientes son sus principales características.

- Absorben las vibraciones.
- Mínimas vibraciones torsionales.
- Aislamiento térmico y eléctrico entre los ejes.
- Protección ante posibles aceleraciones bruscas durante la transmisión.
- Con muelle metálico

3. Flechas tipo guía:

Estos elementos se propusieron en Acero 1045. El acero SAE 1045 es un acero grado ingeniería de aplicación universal que proporciona un nivel medio de resistencia mecánica y tenacidad a bajo costo con respecto a los aceros de baja aleación. Algunas de las propiedades de dicho material se pueden observar en la Tabla 4.1

Tabla 4.1. Propiedades mecánicas del Acero 1045

Acero AISI SAE 1045	
Dureza	163 HB (84 HRb)
Esfuerzo de Fluencia	310 MPa (45000 PSI)
Esfuerzo Máximo	565 MPa (81900 PSI)
Elongación	16% en 50 mm
Reducción de Área	40%
Modulo de Elasticidad	200 GPa (29000 KSI)
Maquinabilidad	57%
Calor Especifico	460 J/(Kg °K)
Densidad	7,87 g/cm^3 (0,284/in^3)
Conductividad Térmica	52 W/(m °C)
Coeficiente de Poisson	0,3

4. Flecha motriz tipo tornillo de bola:

Un tornillo de bola es un actuador lineal mecánico que traduce el movimiento de rotación en movimiento lineal con poca fricción, (ver Figura 4.5). Un eje roscado proporciona una pista de rodadura helicoidal para rodamientos de bolas que actúan como un tornillo de precisión. Están hechas para tolerancias estrechas, (ver Figura 4.6) y, por lo tanto, son adecuadas para su uso en situaciones en las que es necesaria una alta precisión.

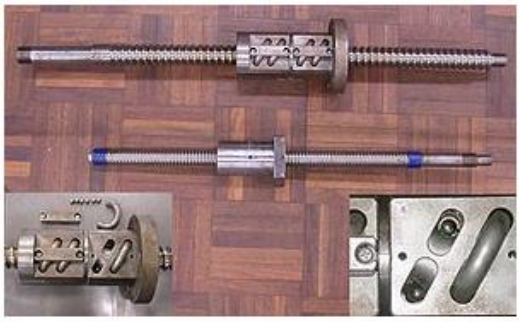


Figura 4.5. Ejemplos de tornillos de bola.

Especificación	Valor
Diámetro	20 mm / 0.79 in
Avance	5 mm / 0.197 in
Precisión de avance	23 µm/300mm / 0.001 in/ft
Código de precisión	P5
Forma de las bolas	MAR
Tamaño del cojinete liso del extremo	15 mm / 0.59 in
Material	Steel
Longitud roscada del husillo	780 mm / 31 in
PL máx.	PL
Cantidad de surcos	1
Husillo de apareamiento primario	195-9700
Diámetro de la raíz	16.900 mm / 0.665 in
Dirección de la rosca	Right Hand
Tipo de rosca	Rolled Thread
Peso	0.002 kg/mm / 0.112 lbs/in

Figura 4.6. Características principales del tornillo de bola seleccionado.

4.3 Simulación final

Finalmente, se terminó el diseño general del alimentador automático (ver Figura 4.7), se agregó también el modelado de la sierra cinta para que se tome como parámetro en dimensiones y en la disposición que se tendrá ya en operación. Las modificaciones que se realizaron lograron ayudar en la prevención de posibles fallas y costo de mantenimiento altos, por ello, se aprobó la propuesta de diseño.

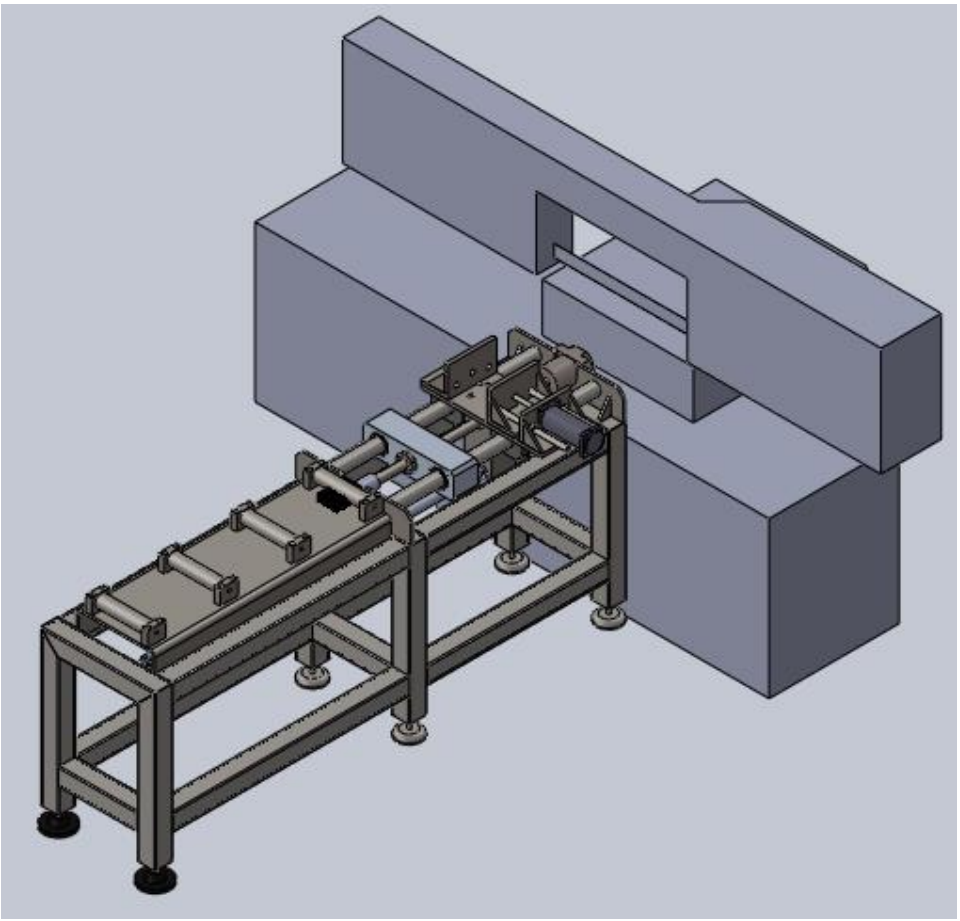


Figura 4.7. Propuesta final de diseño del alimentador automático

Además, se realizaron las simulaciones correspondientes para calcular los esfuerzos y la resistencia de la sección crítica de la máquina: la cama de rodillos, obteniendo los siguientes resultados:

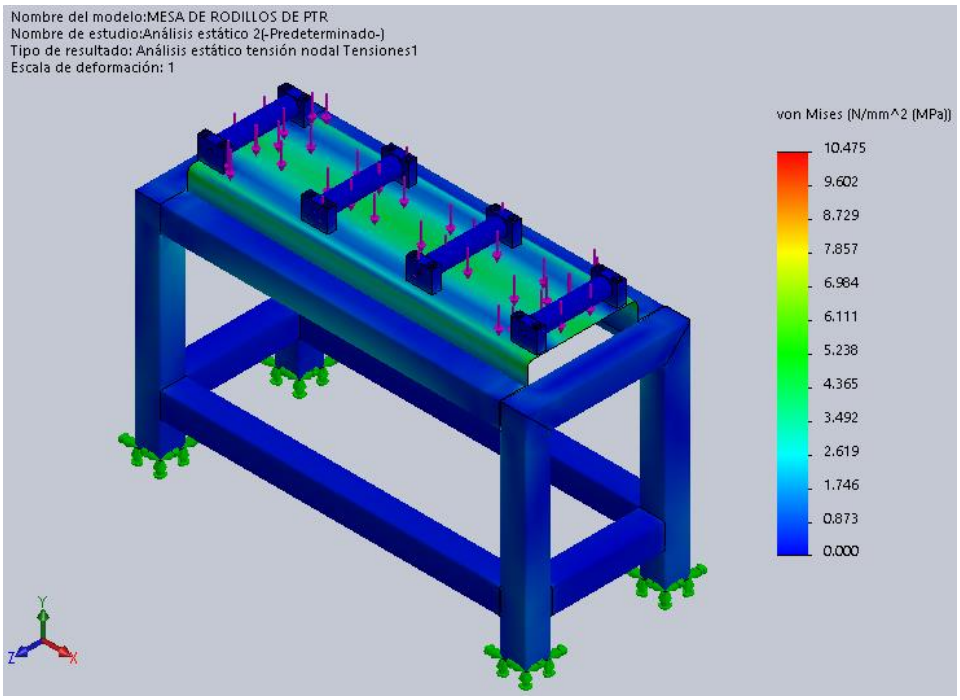


Figura 4.8. Resultados de von Mises

Se obtuvo un valor máximo de 10.475 MPa, los cuales, en la práctica no son significativos, ya que el esfuerzo de fluencia del acero **ASTM A36** es de 250 MPa, según la tabla 4.2:

Tabla 4.2. Esfuerzos de fluencia y de esfuerzo último en aceros

Nomenclatura		F_y [3]		F_u [4]	
NMX [1]	ASTM [2]	MPa	kg/cm²	MPa	kg/cm²
B-254	A36	250	2530	400 a 550	4080 a5620
B-99	A529	290	2950	414 a 585	4220 a5975
B-282	A242	290	2950	435	4430
		320	3235	460	4710
	.	345	3515	485	4920
B-284	A572	290	2950	414	4220
		345	3515	450	4570
		414	4220	515	5270
		450	4570	550	5620
	A992	345	3515	450 a 620	4570 a6330

El esfuerzo de fluencia (Ver Figura 4.9), es la indicación del esfuerzo máximo que se puede desarrollar en un material sin causar una deformación plástica. Por tanto, esta simulación nos dice que estamos trabajando dentro de la zona elástica del material, por ello, nuestra selección del material es correcta.

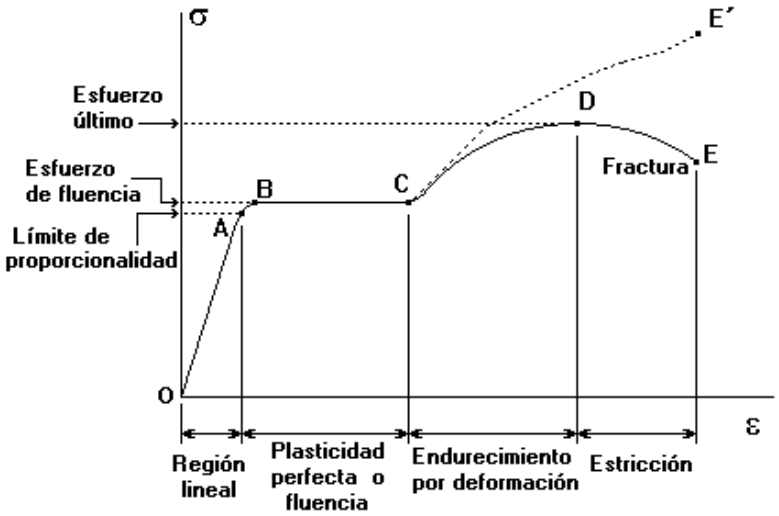


Figura 4.9. Diagrama de esfuerzos en materiales metálicos

Por otro lado, también se analizó el desplazamiento resultante de dicha estructura, el cual consiste en una cantidad de vector y por lo mismo tiene magnitud y dirección. El desplazamiento se define como la distancia vector (o línea recta) entre una posición inicial y una final. El desplazamiento resultante por ello depende solo en el conocimiento de estas dos posiciones.

Por otra parte, y en coherencia con la hipótesis de pequeños desplazamientos y cambios de forma que se asumen en este cálculo, los términos del tensor son numéricamente pequeños. Matemáticamente, se suele caracterizar como “pequeñas” las deformaciones resultantes de un campo de desplazamientos diferenciales de primer orden (Ver figura 4.10).

A continuación, se muestran los resultados obtenidos en la simulación:

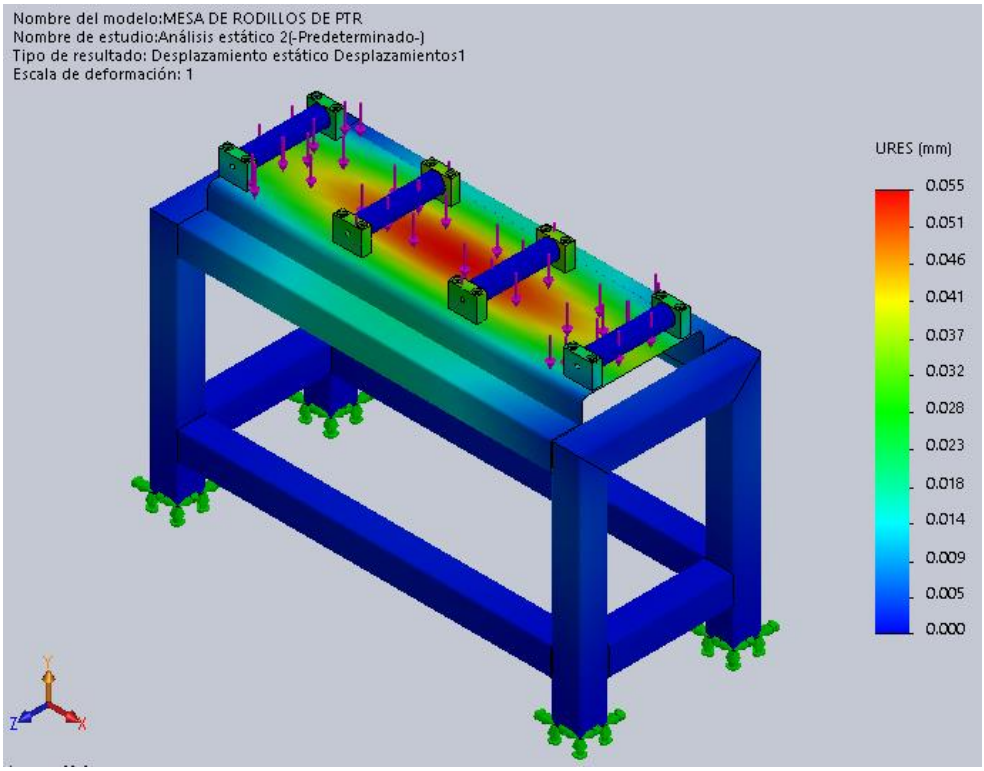


Figura 4.10. Desplazamientos resultantes en la mesa de rodillos

Este estudio permite trazar desplazamientos y resultados de fuerza de reacción en estudios estáticos, el cual fue el caso, obteniendo una resultante máxima de **0.05mm** en el centro del canal "u", este elemento es la base de apoyo de la sección de rodillos, este dato nos dice que el desplazamiento es tan pequeño que no causará daño en el material.

Finalmente, se realizó el análisis para obtener la deformación unitaria en esta sección. La Deformación Unitaria (**ε**), se puede definir como la relación existente entre la deformación total y la longitud inicial del elemento, la cual permitirá determinar la deformación del elemento sometido a esfuerzos de tensión o compresión axial (Ver Figura 4.11).

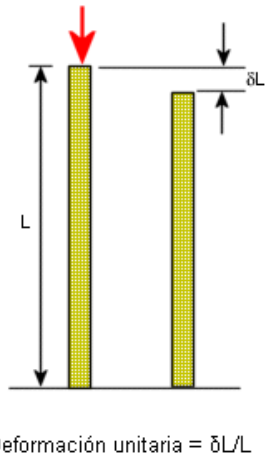


Figura 4.11. Esquema de la deformación unitaria

Las fuerzas internas de un sólido variarán de un punto al otro. A través de toda pequeña área interna de un plano, las cargas son ejercidas por la parte del sólido en un lado del área sobre la parte del otro lado (Ver Figura 4.12). La tensión denota la intensidad de estas fuerzas internas (fuerza por unidad de superficie). El resultado es **adimensional**.

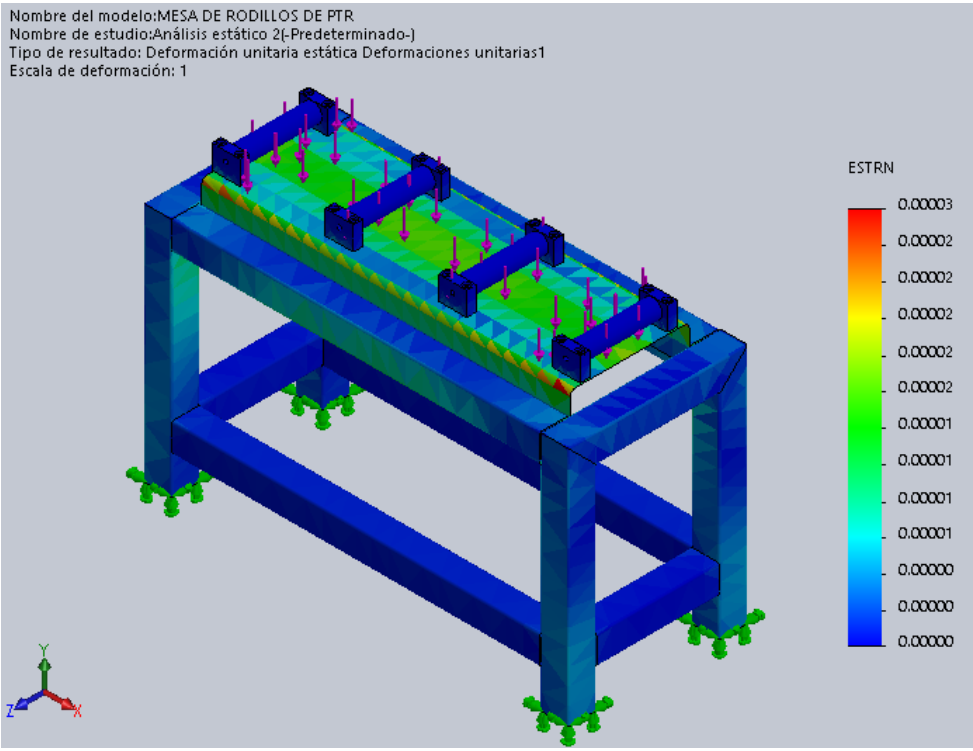


Figura 4.12. Deformaciones unitarias en la mesa de rodillos

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

En este trabajo de tesis se diseñó y modeló un alimentador automático para una máquina de corte de tipo sierra cinta, utilizando la metodología y cálculos pertinentes para lograr el modelo final. También se utilizó Solidworks para realizar el modelado 3d, así como las simulaciones necesarias para garantizar la resistencia y fiabilidad de la estructura de la máquina. Además, se lograron cumplir los siguientes objetivos:

1. Realizar los cálculos de ingeniería pertinentes para la selección de los elementos principales del alimentador.
2. Modelar el alimentador en Solidworks.
3. Realizar las simulaciones adecuadas en solidworks para corroborar la viabilidad del diseño mecánico.
4. Presentar la propuesta de diseño a la empresa.

En conclusión, en la parte mecánica, se desarrolló una propuesta para la alimentación automática de material hacia una máquina de corte de tipo sierra cinta, y se aprobó por parte de la empresa el diseño de ingeniería del proyecto. Por otro lado, en la parte de control y automatización se realizó el diagrama de flujo del funcionamiento que va a tener la máquina, así como también las tablas de verdad con la cual realizaremos la posterior programación en el PLC seleccionado.

5.2 Recomendaciones

Se recomienda fabricar la máquina alimentadora bajo los lineamientos de diseño presentados a la empresa, esto, reducirá el costo de inversión y traerá notables beneficios económicos basados en la reducción de mermas de material, así como la minimización de los tiempos de espera para producir piezas finales.

Referencias

[1] Forbes, «Automatización: eficiencia inteligente,» Forbes México, 2018.

[2] Colciencias, Plan Estratégico de Programa Nacional de Desarrollo Tecnológico, Industrial y Calidad. Bases para una Política de Promoción de la Innovación y el Desarrollo Tecnológico en Colombia, Bogotá, 2005.

[3] J. Gutiérrez, Significado Económico - Social y Técnico de Automatización, 1994.

[4] S. Derby, Design of Automatic Machinery, New York: Marcel Dekker, 2005.

[5] E. Pérez, Autómatas programables, Paraninfo, 2006.

[6] E. A. Avallone y T. B. III, Marks´ Standard Handbook for Mechanical Engineers, New York: McGraw-Hill, 1996.

[7] k. Ogata, Ingeniería de Control Moderna, Madrid: Pearson Educación, 2010.

[8] G. Pahl, W. Beitz, J. Feldhusen y K.-H. Grote, Engineering Desing, A Systematic Approach, Germany: Springer, 2007.

[9] A. G. Erdman y G. N. Sandor, Diseño de Mecanismos, Análisis y Sínstesis, México: Pearson Educación, 1998.

[10] R. L. Norton, Diseño de Máquinas, Un enfoque integrado, México: Pearson Educación, 2011.

.