



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA
DEPARTAMENTO DE DISEÑO Y AUTOMATIZACIÓN



**DISEÑO DE UN SISTEMA SEMI-
AUTOMÁTICO DE ALIMENTACIÓN PARA
UNA PRENSA TROQUELADORA.**

AUTOR: Marcano Joan
Vera Miguel

ÍNDICE GENERAL

	Paginas
Introducción.....	1
Capítulo I El Problema.....	3
1.1. Planteamiento del Problema.....	3
1.2. Objetivos.....	6
2.1.1. Objetivo General.....	6
2.1.2. Objetivos Específicos.....	6
1.3. Justificación.....	7
1.4. Delimitaciones.....	8
1.5. Limitaciones.....	8
Capítulo II Marco Teórico.....	9
2.1. Antecedentes de la Investigación.....	9
2.2. Bases Teórica.....	11
Troquel.....	11
Tipos de Troquel.....	12
Teoría de Punzonado.....	12
Mecánica del Corte.....	13
Soldadura.....	14
Sistema automatizado.....	16
Objetivos de la automatización.....	17
Campo de aplicación de un PLC.....	18
Ventajas de un PLC.....	18
Desventajas de un PLC.....	19
Funciones básicas de un PLC.....	20
Sensor.....	20
Sensores magneticos.....	21
2.3. Definición de Términos Básicos.....	22
Acero.....	22
Chapa.....	22

Corte.....	22
Neumática.....	22
Punzón.....	22
Porta troquel.....	22
Prensa.....	23
Válvula de Control.....	23
Capítulo III Marco Teórico.....	24
3.1. Marco Metodológico.....	24
3.1.1 Nivel de la Investigación.....	24
3.2. Diseño de la Investigación.....	25
3.3. Aspectos Administrativos.....	26
3.3.1. Recursos Humanos.....	26
3.3.2. Recursos Institucionales.....	26
3.4. Población y Muestra.....	27
Capítulo IV Cálculos.....	28
4.1. Análisis del Sistema Actual.....	28
4.2. Posibles Soluciones.....	29
Posible Solución N° 1.....	30
Posible Solución N° 2.....	32
Posible Solución N° 3.....	34
4.3. Criterios.....	36
4.4. Restricciones.....	36
4.5. Descripción del Sistema a Diseñar.....	39
4.6. Caculos para el Sistema Diseñado.....	46
4.6.1. Sistema de Impulsión.....	46
4.6.2. Cálculos de Soldadura.....	51
4.6.3. Selección del Actuator B.....	58
4.6.4. Cálculo para las vigas.....	60
Cálculo Suponiendo Carga Estática.....	62
Cálculo para Fatiga para Flexión Fluctuante.....	66

Cálculo de Soldadura.....	78
Calculo para la barra de conexión del actuador “A” y el conjunto del Actuador “B” .	88
4.6.5. Sistema de Sujeción.....	93
4.6.6. Cálculos de Columna.....	96
4.7. Selección de los Rodillos Auto-centrantes.....	102
4.8. Selección de los Rodillos Guías.....	103
4.9. Automatización del Sistema.....	105
4.9.3. Selección de la Tecnología a Utilizar.....	105
4.9.4. Esquema representativo del Sistema de Automatización.....	107
4.9.5. Selección de los Componentes del Sistema.....	111
4.9.6. Elaboración del Esquema de Electroneumática.....	118
4.9.7. Diagrama de Escalera.....	122
Capítulo V Justificación Económica.....	123
5.1. Flujos Monetarios.....	123
5.1.1. La Inversión Inicial	123
5.1.2. Capital Fijo.....	124
5.1.3. Capital de Trabajo.....	124
5.1.4. Costos operacionales.....	127
5.1.5. Ingreso Bruto.....	128
5.1.6. Costo de Capital.....	129
5.2. Rentabilidad de un proyecto.....	130
5.3. Toma de Decisión de Invertir.....	135
Conclusiones.....	136
Recomendaciones.....	137
Bibliografía.....	138

ÍNDICE DE FIGURA

	Paginas
Figura 1.1 Operador alimentando la prensa halando el material directamente del porta-jumbo.....	3
Figura 1.2. Porta-jumbo.....	3
Figura 1.3 Operador alimentando la prensa utilizando tiras metálicas previamente cortada.....	4
Figura 1.4 Laminas de desperdicios.....	4
Figura 2.1 Componentes de un troquel simple.....	11
Figura 2.2. Esquema del punzonado.....	13
Figura 2.3. Etapas de punzonado.....	14
Figura 2.4. Imagen de un PLC.....	17
Figura 2.5. Principio de funcionamiento de un sensor magnético.....	21
Figura 4.1. Perforación central	29
Figura 4.2. Punzonado de la pieza.....	29
Figura 4.3. Sección A de la posible solución N° 1.....	30
Figura 4.4. Estructura del sistema de la solución 1.....	31
Figura 4.5. Conjunto armado de la solución 1.....	31
Figura 4.6. Estructura de la posible solución 2.....	32
Figura 4.7. Conjunto armado de la posible solución 2.....	33
Figura 4.8. Posible solución 3.....	34
Figura 4.9. Sistema de alimentación.....	39
Figura 4.10. Sub-sistemas del sistema de alimentación.....	41
Figura 4.11 Función de los Rodillos guías.....	42
Figura 4.12. Sistema de impulsión.....	43
Figura 4.13. Vista frontal e Isometría del Conjunto del actuador “B”.....	44
Figura 4.14. Sistema de sujeción.....	45
Figura 4.15. Rodillos auto-centrantes.....	46
Figura 4.16. Reacción de los rodillos por acción de la fuerza F.....	46
Figura 4.17. Esquema de la bobina de materia prima.....	47
Figura 4.18. Perímetro de una Circunferencia.....	49
Figura 4.19. Vista lateral de los soportes del actuador A.....	52

Figura 4.20. Vista de los sujetadores del actuador A donde se observan los cordones de soldadura.....	53
Figura 4.21. Descomposición de τ'' en τ_x'' , τ_y'' para obtener el τ_{total}	57
Figura 4.22. D.C.L del material cuando es sujetado por el conjunto del actuador B.....	58
Figura 4.23. Diagrama para la viga.....	60
Figura 4.24. Diagramas de corte y momento.....	62
Figura 4.25. Vista de la viga deslizante.....	63
Figura 4.26. Diagrama de variación de la fuerza aplicada.....	68
Figura 4.27. (a) Vista frontal del sistema de sujeción primario; (b) Vista de planta del sistema de sujeción primario.....	78
Figura 4.28. Perfil del cordón de soldadura y posición del centroide.....	80
Figura 4.29. Representación de los esfuerzos cortantes en el cordón de soldadura.....	81
Figura 4.30. Perfil del cordón de soldadura y posición del centroide de la misma.....	84
Figura 4.31. Representación de los esfuerzos cortantes en el perfil de soldadura.....	85
Figura 4.32. Posición de la barra de conexión en el sistema.....	88
Figura 4.33. Dimensiones de la barra de conexión.....	89
Figura 4.34. Diagrama de cuerpo libre de la barra de conexión.....	89
Figura 4.35. (a) D.C.L de la lámina; (b) D.C.L de la bobina.....	93
Figura 4.36. Columnas del Sistema de Alimentación.....	97
Figura 4.37. Líneas de fallas de columnas Euler, Johnson y columnas cortas.....	99
Figura 4.38. Rueda auto-centrantes.....	102
Figura 4.39. Rodillos Guías.....	104
Figura 4.40. Esquema representativo del sistema de automatización.....	108
Figura 4.41. Diagrama de conexiones neumaticas.....	118
Figura 4.42. Diagrama de conexiones al PLC.....	119
Figura 5.1. Valor Actual vs tasa minima de rendimiento para un proyecto de inversión.....	131

ÍNDICE DE TABLAS.

	Paginas
Tabla 4.1. Aplicación de las restricciones a las posibles soluciones.....	36
Tabla 4.2. Ponderación de criterios.....	37
Tabla 4.3. Verificación lógica de la ponderación de criterios.....	37
Tabla 4.4. Ponderación de soluciones respecto a C_1	37
Tabla 4.5. Ponderación de soluciones respecto a C_2	38
Tabla 4.6. Ponderación de soluciones respecto a C_3	38
Tabla 4.7. Ponderación de soluciones respecto a C_4	38
Tabla 4.8. Ponderación de soluciones respecto a C_5	38
Tabla 4.9. Ponderación final de soluciones.....	39
Tabla. 4.10. Direccionamiento de entrada.....	120
Tabla. 4.11. Direccionamiento de salida.....	121
Tabla 5.1. Comparación entre el sistema actual y el sistema semi-automático.....	126
Tabla 5.2. Flujos monetarios.....	132

INTRODUCCIÓN

Cada día aumenta la cantidad de personas accidentadas por trabajar en prensa bien sea por inexperiencia en el manejo de la máquina como por falta de atención del mismo operador, sin embargo la industria metalmeccánica actualmente invierten grandes cantidades de dinero para disminuir el porcentaje de accidentados y lo han logrado a través de la automatización del proceso, lo cual le ha traído beneficios adicionales como obtener una mayor cantidad de productos en menor tiempo y de mejor calidad.

Troqueles nacionales al formar parte de este tipo de industrias se ha propuesto desarrollar el siguiente proyecto ***DISEÑAR UN SISTEMA DE ALIMENTACIÓN SEMI-AUTOMATICO PARA UNA PRENSA TROQUELADORA.*** A través de dos estudiantes de la Universidad de Carabobo los cuales han elaborado este informe implementando la siguiente metodología:

Capitulo I. El problema

En este se plantea el problema, objetivos generales y específicos del informe seguidamente se encuentra una justificación, unas delimitación y limitaciones.

Capitulo II. Marco Teórico

Se encuentra un resumen de trabajos realizados anteriormente relacionados con el tema en estudio, luego se encuentra información que ayudara al lector a comprender mejor el proyecto como: que es un troquel, su clasificación, que es un punzonado y sus etapas, soldadura por arco eléctrico, identificación de electrodos, que es la automatización, ventajas y desventajas de la automatización, que es un Sensor, un Sensor magnético, un PLC y cuales son las funciones básicas y por ultimo se encuentran una etapa de definición de conceptos básicos.

Capítulo III. Marco Metodológico.

En este capítulo se presenta la metodología que se adopta para llevar a cabo la investigación. En este se indica el tipo de investigación realizada y describe el conjunto de pasos ordenados para ejecutar la investigación, que permite la obtención, y organización necesaria para obtener la solución al problema planteado.

Capítulo IV. Cálculos.

En este capítulo se realiza un análisis de la situación actual donde se describe como se está realizando el proceso de punzonado para la fabricación del Soporte Común y del Aspa de Ventilador, adicionalmente se detecta los riesgos y las ineficiencias del proceso, con lo cual se da inicio a la etapa de generación de posibles soluciones, a estas se le aplican restricciones para realizar una preselección, seguidamente las posibles soluciones que cumplan con las restricciones se someten a una ponderación de criterios para finalmente obtener una ponderación final de la cual se obtiene la solución.

Seleccionada la solución se realiza una descripción del sistema a diseñar donde se explica el funcionamiento de cada uno de los elementos que constituyen el sistema. Posteriormente se realiza los cálculos del sistema a diseñar, una vez terminada esta etapa se da inicio a la automatización del sistema.

Capítulo V. Justificación Económica.

Se muestra el estudio de factibilidad o rentabilidad económica del proyecto aplicando los siguientes pasos, estimación de flujos monetarios, se selecciona el TIR para determinar la rentabilidad y por último se emite una decisión.

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Actualmente la empresa TROQUENAL ubicada en la ciudad de Valencia. Edo Carabobo fabrica entre alguno de sus productos las aspas para los motores de las licuadoras y los topes para los amortiguadores de algunos modelos automotrices. El primer proceso que se lleva a cabo para la realización de estos productos es el de corte que puede constar de dos etapas. La primera etapa es la reducción de las dimensiones del jumbo (cantidad de materia prima enrollada alrededor de un eje) original que recibe la empresa para llevarlo a las medidas que se requiera para realizar el siguiente proceso. La segunda etapa se lleva acabo en la prensa neumática en esta el operador tiene que seguir el siguiente procedimiento:

Colocar el porta-jumbo en una posición que permita alimentar la prensa, luego debe tomar con las dos manos el extremo de la tira e introducirla en la matriz del troquel hasta que llegue a los topes que hay en la misma, estos le permiten al operador saber cuando el material esta en la posición correcta para comenzar el proceso.



Figura 1.1 Operador alimentando la prensa halando el material directamente del porta-jumbo.



Figura 1.2. Porta-jumbo

Después de que el material esta en posición, el operador presiona un pedal que fue adaptado a la máquina para accionar la prensa y hacer bajar el troquel cortando el material, luego debe halar nuevamente la lámina para repetir el proceso.

El procedimiento antes descrito puede tener variaciones debido a las medidas de las láminas o por comodidad del operador, es decir, el material se suele cortar en tiras de aproximadamente 1 m de largo por 76mm de ancho, esto le permite al operador manejar cómodamente el material al momento de alimentar la prensa, evitando tener que halar directamente del porta-jumbos.



Figura 1.3 Operador alimentando la prensa utilizando tiras metálicas previamente cortada.



Figura 1.4 Tiras de desperdicios.

La realización del corte en la prensa requiere un gran esfuerzo físico por parte del operador, el cual tiene que manejar los grandes rollos o bobinas del metal, adaptarlos en el porta bobina el cual gira para facilitar el desenrollado del metal, cabe destacar que el mismo posee un motor que está dañado, el cual tenía la función de hacer girar el porta bobinas, actividad que está realizando ahora el operador.

La demanda de los productos con lleva a que la producción diaria sea mayor a la producción actual, tanto en el caso de las aspas para los motores de licuadoras como en el caso de las bases para amortiguadores. Con las condiciones que se tienen actualmente solo se puede procesar aproximadamente 4400 aspas diarias y 4000 topes para amortiguadores diarias, esto debido a que por las características que tiene la máquina y el sistema, hacen que el proceso en su mayor parte sea manual.

Todo el procedimiento que tiene que seguir el operador hace que la producción sea considerablemente lenta y tediosa sometiendo al operario a largas jornadas de trabajo que producen en él fatiga y disminuyen la eficiencia del proceso productivo. Además el mismo se ve sometido a condiciones de trabajo como ruido, altas temperaturas, riesgos de que se corte alguna parte del cuerpo al maniobrar las láminas de acero y riesgo de que se pueda aprisionar una mano por alguna falla de la prensa.

Por todo lo antes planteado, se necesita aumentar el nivel de producción de la prensa troqueladora de metal, hacer más eficiente el proceso, mejorar las condiciones ergonómicas de los operarios dándole cumplimiento a la Ley Orgánica de Prevención y Medio Ambiente de Trabajo (LOCYMAT).

1.2 OBJETIVOS.

1.2.1 OBJETIVO GENERAL

- Diseñar un sistema semi-automático de alimentación para una prensa troqueladora.

1.2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Analizar el proceso actual de corte y alimentación de la prensa para determinar sus características.
- Diseñar el sistema mecánico de alimentación de la máquina troqueladora.
- Diseñar el sistema de control para la alimentación de la máquina troqueladora.
- Realizar un estudio de factibilidad económica.

1.3 JUSTIFICACIÓN

La problemática ocasionada por el aumento en la demanda de bienes y servicios y la falta de sistemas productivos adecuados, ya sea por que los mismos no tienen la capacidad requerida o porque son obsoletos, son los principales motivos por los que se han creados sistemas automatizados que permiten aumentar considerablemente la productividad de cualquier industria, es decir, se obtienen mayores ganancias al disminuir los tiempos de producción, aprovechando al máximo la materia prima. Además la automatización permite que sistemas que se puedan considerar hasta ciertos puntos obsoletos sean optimizados mediante el rediseño y/o modificación de los mismos.

En el caso específico del problema presentado por la empresa TROQUENAL en el que se requiere aumentar el volumen de producción (de las aspas para el motor de las licuadoras y de las topes para amortiguadores automotrices) para cumplir con la demanda exigida por los clientes y a la vez aumentar sus índices de ganancia. El proceso de producción que se lleva actualmente en la empresa antes mencionada es en su mayoría manual, se propone la semi-automatización del sistema de alimentación de la prensa troqueladora para la operaciones de punzonado de las aspas para el motor de las licuadoras y de los topes para amortiguadores automotrices.

Con la implementación de un sistema automatizado se busca incrementar el servicio prestado a los clientes y las ganancias de la empresa, pero al automatizar la prensa troqueladora encargada de realizar el corte de las láminas de metal se obtendrán otros beneficios de mucha importancia como lo es la mejoras en las condiciones de trabajo del operador, ya que el mismo no estará sometido a factores que disminuyen su eficiencia y que podrían afectar su salud. Ejemplos de los factores o condiciones de trabajo del operador de la máquina troqueladora que se mejorarían con la automatización del sistema, serian los siguientes:

- Realizará menor esfuerzo físico.
- Estará sometido a menores niveles de ruido.
- Reduce la exposición a un ambiente térmico que podría ser inadecuado
- Disminuye el riesgo de que el mismo se corte al manejar las laminas de metal

Todo lo antes mencionado demuestra las ventajas que traería a esta empresa la automatización del sistema de corte de láminas de metálicas.

1.4 DELIMITACIONES

- El operario deberá retirar manualmente la pieza troquelada.
- El tipo de material a procesar es acero ASTM 569.
- El ancho de la lámina de acero a utilizar es de 7 hasta 9cm.
- Este proyecto se basará solo en el diseño y no en la implementación del sistema semi-automático diseñado.

1.5 LIMITACIONES

- Disponibilidad de tiempo para desarrollar el proyecto.
- Existe poca información acerca de la máquina troqueladora.
- Disponibilidad de la empresa para proporcionar el equipo a automatizar.
- El espacio físico es reducido.

2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Se refiere a los estudios realizados con anterioridad y que tienen relación con el problema de la investigación. Según Arias (1999) señala que “Son investigaciones realizadas anteriormente y que guardan alguna vinculación con el objeto de estudio” (p.39). En los antecedentes se trata de hacer una síntesis conceptual de las investigaciones y trabajos realizados sobre el problema formulado con el fin de determinar el enfoque metodológico de la misma investigación.

Antecedente N° 1

En el año 1985 en la Universidad de Carabobo, se presentó el trabajo de grado titulado “*Diseño de un sistema automatizado de una máquina troqueladora de láminas de cartón*” realizado por el bachiller Rebonatto D. Marcos A. En éste se plantearon definir el sistema de control en las secciones de carga y descarga así como la selección de los elementos de control requeridos en dichos sistemas. Como conclusiones mas relevantes se obtuvieron que para los procesos de alimentación, descarga de la maquina troqueladora, se diseño un sistema de manejo de materiales, basado en camas de rodillos motorizados, manejados automáticamente a través de un controlador lógico programable.

Antecedente N° 2

En la Universidad de Carabobo, en el año 2006 en se presentó el trabajo de grado titulado “*Rediseño y automatización de una maquina cortadora de laminas de aluminio en una empresa laminadora*” realizado por los bachilleres Jerez Víctor y Fernández Félix. Para este trabajo se realizó un estudio de las condiciones operativas actuales de la máquina cortadora en estudio, se modernizó la máquina rediseñando las partes necesarias, además de diseñar un sistema automatizado para el suministro de bobinas y control de tensión de la maquina cortadora. Con la implementación del sistema de control se disminuirá el desgaste físico en los operarios al momento de retirar la bobina, esto gracias a las consideraciones realizadas en lo que respecta al posicionamiento de los actuadores neumáticos. El debobinador a instalar poseerá un sistema de control de bandas para la lámina de aluminio, que compensara los problemas de cortes que están fuera de las especificaciones.

Antecedente N° 3

Los bachilleres Mendoza Juan y Ramos Luís presentaron ante la Universidad de Carabobo, el trabajo de grado titulado “*Rediseño del proceso de punzonado para estructuras pertenecientes a amortiguadores para vehiculo*” en el año 2005. Para este proyecto se plantearon como temas más relevantes el diagnosticar el proceso de punzonado aplicado actualmente y diseñar un sistema que permita eliminar las fallas mas frecuentes que se presentan en el proceso de punzonado. Como conclusiones relevantes se obtuvo que, habrá una simplificación del proceso de cambio del porta troquel, se elimina la repetibilidad de las tareas y la implementación de la estandarización del porta troquel de punzonado de brackets.

2.2. Bases Teóricas

Troquel

Es una herramienta que montada en una prensa permite realizar operaciones diversas tales como:

- Perforados
- Embutidos
- Dobleces
- Estampados
- Extruidos
- Rasurados
- Picados, etc.

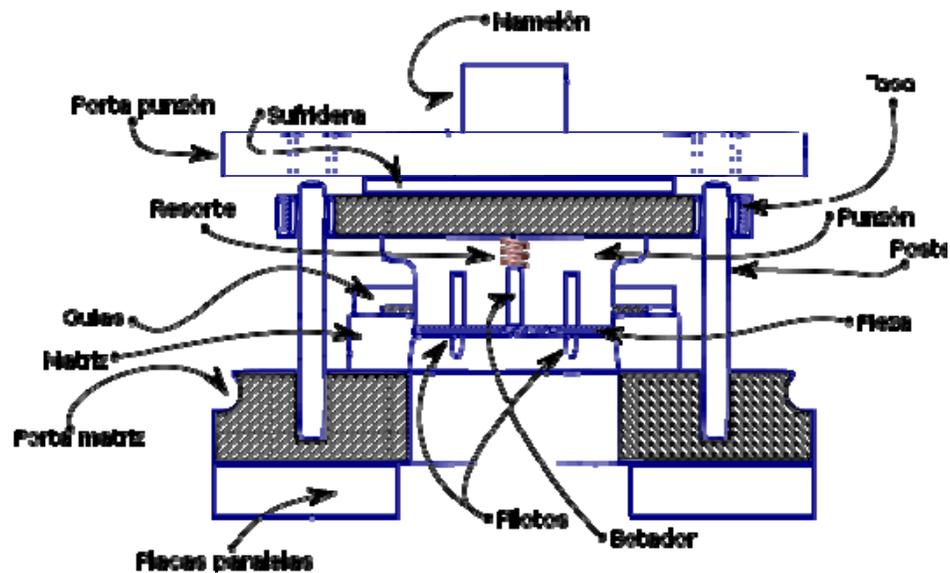


Figura 2.1 Componentes de un troquel simple. Fuente (10)

Tipos de troqueles.

Troquel plano.

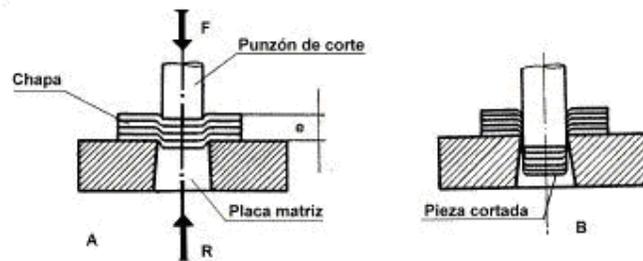
Su perfil es plano y la base contra la que actúa es metálica. Su movimiento es perpendicular a la plancha consiguiendo así una gran precisión en el corte. Fuente (10).

Troquel rotativo.

El troquel es cilíndrico y la base opuesta está hecha con un material flexible. Al contrario que en el troquelado plano, el movimiento es continuo y el registro de corte es de menor precisión. Ello es debido a que la incidencia de las cuchillas sobre la plancha se realiza de forma oblicua a la misma. Los embalajes fabricados en rotativo son, por tanto, aquéllos que no presentan altas exigencias estructurales tales como las Wrap Around o algunas bandejas. Por su movimiento continuo, el troquelado rotativo consigue mayores productividades en fabricación que el plano. Fuente (10)

Teoría de punzonado.

El punzonado es una operación de corte de chapas o láminas, generalmente en frío, mediante un dispositivo mecánico formado por dos herramientas: el punzón y la matriz. La aplicación de una fuerza de compresión sobre el punzón obliga a éste a penetrar en la chapa, creando una deformación inicial en régimen elastoplástico seguida de un cizallamiento y rotura del material por propagación rápida de fisuras entre las aristas de corte del punzón y matriz. El proceso termina con la expulsión de la pieza cortada. Fuente (“8” Teoría de punzonado).



(A) Penetración del punzón en la pieza.

(B) Extracción del recorte.

Figura 2.2. Esquema del punzonado. Fuente (“8” Aspectos analíticos y tecnológicos del proceso de punzonado de chapa).

Tabla 2.1. Factores que intervienen en el punzonado. Fuente (“8” Aspectos analíticos y tecnológicos del proceso de punzonado de chapa).

Máquina	Herramienta	Material	Pieza	Entorno
Potencia	Geometría	Características Del material	Geometría	Organización Del proceso.
Características estructurales.	Tipo de material	Tratamiento superficial	Espesor	Organización de la producción
Accionamiento regulación	Tratamiento superficial		Calidad	

Mecánica del corte

En el proceso de punzonado se pueden considerar tres etapas:

- **Deformación:** Los esfuerzos del punzón sobre la chapa metálica, originan en ésta una deformación, inicialmente elástica y después plástica, alrededor de los bordes del punzón y matriz.

- Penetración: Los filos de corte del punzón y matriz penetran dentro del material, produciéndose grietas en el material debido a la concentración de tensiones a lo largo de los filos de corte.
- Fractura: Las grietas originadas a uno y otro lado de la chapa se encuentran, originando la separación del material. Asimismo, el punzón continúa su descenso para expulsar el recorte.

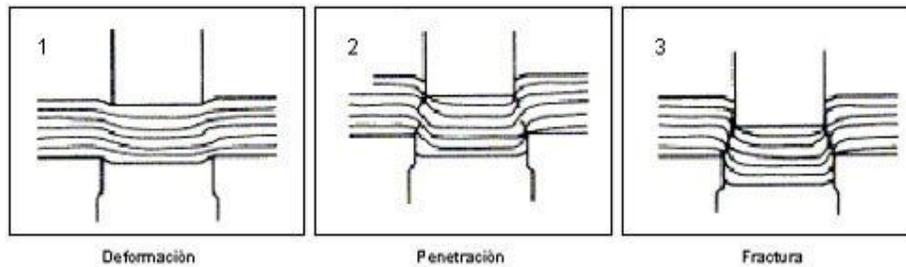


Figura 2.3. Etapas de punzonado. Fuente (“8” Aspectos analíticos y tecnológicos del proceso de punzonado de chapa).

Soldadura

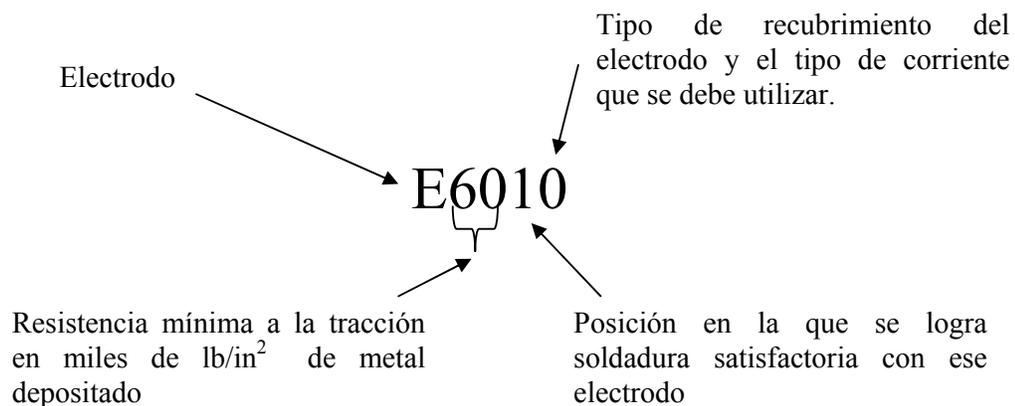
La AWS define una soldadura como una coalescencia localizada de metal, en donde esa conglutinación se produce por el calentamiento a temperaturas adecuadas, con o sin la aplicación de presión y con o sin la utilización de material de aporte. El metal de aporte sólo se puede emplear si éste y el metal base son compatibles (en términos de la estructura cristalina) y si existe un contacto átomo a átomo (que sólo es posible si las superficies están limpias y libres de material extraño). Si los metales base no son compatibles, es necesario emplear un proceso en el cual no se fundan (como la soldadura fuerte) o un metal de aporte que sea diferente a los de base, pero que se fusionen con ellos. Siempre que se funde el metal base, se tiene una mezcla de los metales base y de aporte.

Soldadura con arco metálico protegido. Se emplean electrodos recubiertos y se pueden efectuar con fuentes de potencias de cc o ca. Su aplicación es para aceros dulces y de aleación e inoxidables y, en menor grado, metales no ferrosos. El electrodo se sujeta en una portaelectrodo que tiene un cable conductor hasta la fuente de potencia. La pieza de trabajo se conecta eléctricamente a tierra. Para establecer el circuito, se toca la pieza de trabajo con la boquilla del electrodo y, luego, se retrocede una pequeña distancia, con lo que se inicia el arco. El voltaje del arco varía más o menos entre 20 y 40V y la corriente es de alrededor de 20 a 500A, lo cual depende principalmente del tamaño y tipo del electrodo y la posición para soldar. Fuente (Manual Del Ingeniero Mecánico).

Los recubrimientos para electrodos sirven para diversos fines:

- Facilitar el establecimiento y conservación del arco.
- Proteger el metal fundido contra el aire.
- Actuar como fundente de los metales que se funden.
- Constituir una forma de introducir ingredientes de aleación que no estén en los alambres núcleo.

La clasificación de los electrodos se basa en requisitos químicos, propiedades mecánicas, tipos de recubrimientos de electrodos, su utilidad y solidez. Para la identificación de un electrodo se presenta el siguiente esquema:



Sistema automatizado

La automatización es un sistema donde se transfieren tareas de producción, realizadas habitualmente por operadores humanos a un conjunto de elementos tecnológicos.

Un sistema automatizado consta de dos partes principales:

- Parte operativa
- Parte de mando

La Parte Operativa es la parte que actúa directamente sobre la máquina. Son los elementos que hacen que la máquina se mueva y realice la operación deseada. Los elementos que forman la parte operativa son los accionadores de las máquinas como motores, cilindros, compresores y los captadores como fotodiodos, finales de carrera.

La Parte de Mando suele ser un autómata programable (tecnología programada), aunque hasta hace bien poco se utilizaban relés electromagnéticos, tarjetas electrónicas o módulos lógicos neumáticos (tecnología cableada) . En un sistema de fabricación automatizado el autómata programable esta en el centro del sistema. Este debe ser capaz de comunicarse con todos los constituyentes de sistema automatizado. Fuente (9.Plc)

Objetivos de la automatización

- Mejorar la productividad de la empresa, reduciendo los costes de la producción y mejorando la calidad de la misma.
- Mejorar las condiciones de trabajo del personal, suprimiendo los trabajos penosos e incrementando la seguridad.
- Realizar las operaciones imposibles de controlar intelectual o manualmente.
- Mejorar la disponibilidad de los productos, pudiendo proveer las cantidades necesarias en el momento preciso.
- Simplificar el mantenimiento de forma que el operario no requiera grandes conocimientos para la manipulación del proceso productivo.
- Integrar la gestión y producción.

Un autómata programable industrial (API) o Programmable logic controller (PLC), es un equipo electrónico, programable en lenguaje no informático, diseñado para controlar en tiempo real y en ambiente de tipo industrial, procesos secuenciales.

Un PLC trabaja en base a la información recibida por los captadores y el programa lógico interno, actuando sobre los accionadores de la instalación. Fuente (“9”Plc)



Figura 2.4. Imagen de un PLC. Fuente (9.Plc)

Campos de aplicación de un PLC

El PLC por sus especiales características de diseño tiene un campo de aplicación muy extenso. La constante evolución del hardware y software amplía constantemente este campo para poder satisfacer las necesidades que se detectan en el espectro de sus posibilidades reales.

Su utilización se da fundamentalmente en aquellas instalaciones en donde es necesario un proceso de maniobra, control, señalización, etc., por tanto, su aplicación abarca desde procesos de fabricación industriales de cualquier tipo a transformaciones industriales, control de instalaciones, etc.

Sus reducidas dimensiones, la extremada facilidad de su montaje, la posibilidad de almacenar los programas para su posterior y rápida utilización, la modificación o alteración de los mismos, etc., hace que su eficacia se aprecie fundamentalmente en procesos en que se producen necesidades tales como:

- Espacio reducido
- Procesos de producción periódicamente cambiantes
- Procesos secuenciales
- Maquinaria de procesos variables
- Instalaciones de procesos complejos y amplios
- Chequeo de programación centralizada de las partes del proceso

Ventajas de un PLC

- Menor tiempo empleado en la elaboración de proyectos debido a que:
- No es necesario dibujar el esquema de contactos
- No es necesario simplificar las ecuaciones lógicas, ya que, por lo general la capacidad de almacenamiento del módulo de memoria es lo suficientemente grande.

- La lista de materiales queda sensiblemente reducida, y al elaborar el presupuesto correspondiente eliminaremos parte del problema que supone el contar con diferentes proveedores, distintos plazos de entrega.
- Posibilidad de introducir modificaciones sin cambiar el cableado ni añadir aparatos.
- Mínimo espacio de ocupación.
- Menor coste de mano de obra de la instalación.
- Economía de mantenimiento. Además de aumentar la fiabilidad del sistema, al eliminar contactos móviles, los mismos autómatas pueden indicar y detectar averías.
- Posibilidad de gobernar varias máquinas con un mismo autómata.
- Menor tiempo para la puesta en funcionamiento del proceso al quedar reducido el tiempo cableado.
- Si por alguna razón la máquina queda fuera de servicio, el autómata sigue siendo útil para otra máquina o sistema de producción.

Desventajas de un PLC

- Como inconvenientes podríamos hablar, en primer lugar, de que hace falta un programador, lo que obliga a adiestrar a uno de los técnicos en tal sentido, pero hoy en día ese inconveniente está solucionado porque las universidades ya se encargan de dicho adiestramiento.
- El coste inicial también puede ser un inconveniente.

Funciones básicas de un PLC

Detección:

Lectura de la señal de los captadores distribuidos por el sistema de fabricación.

Mando:

Elaborar y enviar las acciones al sistema mediante los accionadores y pre-accionadores.

Dialogo Hombre máquina:

Mantener un diálogo con los operarios de producción, obedeciendo sus consignas e informando del estado del proceso.

Programación:

Para introducir, elaborar y cambiar el programa de aplicación del autómeta. El dialogo de programación debe permitir modificar el programa incluso con el autómeta controlando la maquina.

Sensor

Es un dispositivo que detecta manifestaciones de cualidades o fenómenos físicos, como la energía, velocidad, aceleración, tamaño, cantidad, etc. Podemos decir también que es un dispositivo que aprovecha una de sus propiedades con el fin de adaptar la señal que mide para que la pueda interpretar otro elemento.

Sensores Magnéticos

Se le denomina relés tipo “reed”, son utilizados en cilindros neumáticos para detectar la posición de fin de carrera a través del vástago del cilindro.

Los sensores neumáticos constan de un sistema de contactos cuyo accionamiento vendrá ocasionado por la aparición de un campo magnético. Los contactos se cerrarán bajo la influencia de un campo magnético provocado por un dispositivo imantado alojado en el objeto a detectar, en los cilindros neumáticos el imán permanente va integrado en el émbolo, estos cuando el campo magnético se acerca al sensor, estos transmiten una señal eléctrica o neumática a los controles, electro válvulas o elementos de conmutación neumáticos.

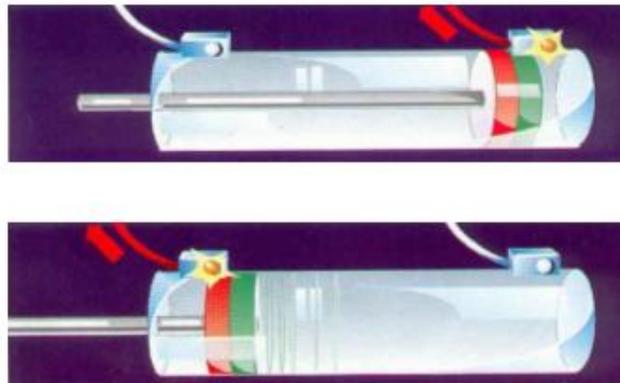


Figura 2.5. Principio de funcionamiento de un sensor magnético. Fuente (“7” Características técnicas de los diferentes tipos de sensores).

2.3. DEFINICIONES DE CONCEPTOS BÁSICOS.

Acero

Comúnmente se entiende por acero la aleación de hierro y carbono, donde el carbono no supera el 2% en peso, sirvieron de base para los demás.

Chapa

Lámina de metal para ser estampada.

Corte

Es una operación mecánica con la cual se consigue separar una parte metálica de la otra obteniéndose instantáneamente una figura determinada.

Neumática

Es la tecnología que emplea el aire comprimido como modo de transmisión de la energía necesaria para mover y hacer funcionar mecanismos.

Punzón

Elemento que por su geometría, es el encargado de ejecutar el corte del material a través de la fuerza de corte que el mismo ejerce sobre la lámina.

Porta troquel

Elemento diseñado especialmente con el fin de soportar todos los elementos necesarios para realizar en la prensa el punzonado.

Prensa

Es una máquina que acumula energía mediante un volante de inercia y la transmite bien mecánicamente (prensa de revolución total) o neumáticamente (prensa de revolución parcial) a un troquel o matriz mediante un sistema de biela-manivela.

Válvula de control.

La válvula automática de control generalmente constituye el último elemento en un lazo de control instalado en la línea de proceso y se comporta como un orificio cuya sección de paso varía continuamente con la finalidad de controlar un caudal en una forma determinada.

3.1. MARCO METODOLÓGICO

En este capítulo se presenta la metodología que se adopta para llevar a cabo la investigación. En este se indica el tipo de investigación realizada y describe el conjunto de pasos ordenados para ejecutar la investigación, que permite la obtención, y organización necesaria para obtener la solución al problema planteado.

3.1.1. Nivel de la Investigación

La definición y los tipos de investigación se han derivado de la necesidad de clasificar los cambios alternativos de la misma. Según Sabino (1980), existen dos tipos de investigación. La investigación pura, la cual no persigue una utilización inmediata para los conocimientos obtenidos, aunque ello no quiere decir que estén desligados de la práctica, y la investigación aplicada de campo. (p: 47)

Este trabajo de grado esta concebido como una investigación de campo, de carácter descriptivo y evaluativo, ya que se analizaran los factores directamente del escenario investigado, con el fin de detectar las causas que originan el problema, además, encaja dentro de los lineamientos de un proyecto factible como propuesta viable para solución de un problema.

Según el manual de trabajo de grado de la Universidad Pedagógica Experimental Libertador (1988) donde se expone que: “El proyecto de campo consiste en un análisis sistemático de un determinado problema con la finalidad de describir sus causas y efectos, comprender su naturaleza y elementos que lo conforman, o predecir su ocurrencia”. Es la propuesta de modelos operativos viables en conjunto, para la solución del problema, ya que la investigación consiste en presentar a Troqueles Nacionales C.A. (TROQUENAL C.A.) una propuesta para la optimización de un proceso operativo con el fin de aumentar al

máximo el rendimiento de los recursos entorno al mismo, lo que representa una mejora de los procedimientos que corresponden al proceso de troquelado de laminas de acero de la empresa, basados en el desarrollo tecnológico.

3.2 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.

El diseño de la investigación se refiere al plan o estrategia concebida por los investigadores para responder el problema planteado. De acuerdo a los objetivos específicos, el proyecto se desarrolla conforme a la siguiente estructura:

Primera fase: Se realizaran análisis del proceso actual de troquelado, a fin de obtener una descripción completa y detallada de las partes que conforman el mismo. También se realizara la recolección de información sobre el diseño y automatización para el corte de láminas de acero, a través de la consulta vía Internet y material bibliográfico.

Segunda fase: En esta se establecerán las características técnicas a través del análisis preliminar, utilizando entrevistas no estructuradas con expertos y fuentes directas como publicaciones especializadas, para seleccionar un óptimo control.

Tercera fase: Determinar la solución que sea compatible con las características técnicas y dinámicas del proceso, así como también con los parámetros establecidos para su diseño. Es decir, la selección de la mejor solución que satisfaga las necesidades del sistema, de un conjunto de posibles soluciones.

Cuarta fase: Diseño y selección de los componentes del sistema y destacar la fortaleza de los mismos, para así obtener su máximo rendimiento.

Quinta fase: Se determina la factibilidad económica (análisis de rentabilidad del proyecto) mediante la relación costo beneficio.

3.3. ASPECTOS ADMINISTRATIVOS.

Esta sección expone los recursos necesarios para la realización de este trabajo de grado, el cual comprende una reseña donde se expresan los recursos humanos, recursos institucionales, recursos económicos, así como el tiempo necesario para la ejecución del mismo.

3.3.1. Recursos humanos.

- El tutor académico: Ing. José Gutiérrez
- El tutor industrial: Ing. David Valencia

3.3.2. Recursos institucionales.

A continuación, se mencionan las instituciones consultadas por los investigadores para la realización de la investigación. Las principales instituciones participantes en este trabajo de grado son:

- La Universidad de Carabobo.

3.4. POBLACIÓN Y MUESTRA.

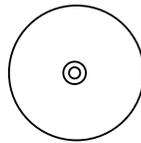
- Población: Según algunos textos la población se puede definir como el conjunto para el cual serán validas las conclusiones que se obtengan; a los elementos o unidades (personas, instituciones o cosas) a los cuales se refiere la investigación. En tal sentido, el entorno que se utilizó como población en esta investigación son la empresa *Troqueles Nacionales C.A. (Troquenal)* y la *Facultad de Ingeniería de la Universidad de Carabobo*.

- Muestra: Se define como el subconjunto representativo de un universo o población. El muestreo permite estudiar una parte de la población en lugar de su totalidad. La muestra para esta investigación será: Los troqueles utilizados en el área de corte y punzónado de láminas metálicas. Procesos llevados a cabo en la empresa *Troquenal C.A.*

4.1. ANÁLISIS DEL SISTEMA ACTUAL

La metodología que utilizan los operadores actualmente para la fabricación del soporte común es la siguiente: Reciben el material cortado en tiras, luego introducen el material en el troquel con la mano derecha quedando la mano izquierda libre hasta que el operador ha procesado aproximadamente el 25% de la tira, a partir de este momento el operador empieza a trabajar con ambas manos hasta haber procesado el 75% de la tira, de aquí en adelante el operador termina de procesar la tira utilizando la mano izquierda quedando la mano derecha libre para luego tomar otra tira y repetir el proceso antes descrito. La prensa en la que se fabrica la pieza posee un selector de accionamiento que puede ser pulsando por dos botoneras ó un pedal. Para la fabricación del soporte común se utiliza el accionamiento por pedal, el cual permite realizar el proceso más rápido.

En cuanto a la fabricación del Aspa de Ventilador el proceso es similar al del soporte común. El operador recibe el material en un porta-bobina, posteriormente introduce el material en el troquel con la mano derecha, quedando la mano izquierda libre. El troquel con el que se fabrica la pieza es progresivo ya que el operador realiza un primer tope para que el troquel realice la perforación central como se observa en la figura 4.1, seguidamente realiza un segundo tope donde se realiza el punzonado de la pieza, esta se observa en la figura 4.2, posteriormente el troquel al realizar el siguiente punzonado corta la tira que va quedando como scrap, este desperdicio cae en un cajón destinado para ese fin. La prensa que se utiliza para fabricar la pieza es la misma del soporte común y la forma de accionar es a través de un pedal.

**Figura 4.1. Perforación central****Figura 4.2. Punzonado de la pieza**

Ambas metodologías ponen en riesgo la seguridad del operador ya que estas dependen del troquel que se monte en la prensa, del tipo de alimentación que tenga el troquel, del accionar de la máquina y de la experiencia del mismo. Para lograr los requerimientos del cliente, la empresa tiene que dejar personas trabajando un tercer turno, lo cual le incrementa los costos por concepto de cancelación de nómina, adicionalmente el cumplimiento de la producción se ve afectada por el rendimiento del operador.

Para la toma de decisión se elaboraron las especificaciones del diseño y se generaron 3 posibles soluciones para el problema.

4.2. POSIBLES SOLUCIONES

Aquí se busca dar solución al problema planteado, para lo cual se generaron varias alternativas de solución diferentes entre si, buscando siempre que las mismas sean lo mas eficientes posible para de esta manera obtener la mejor solución del problema. Las alternativas de solución generadas son las siguientes:

- **Posible solución N° 1**

La función principal del sistema es la de halar el material del porta bobina (1), esto se logra utilizando los elementos que se disponen en la sección A del sistema. El cilindro neumático (3), esta conectado a la estructura formada por las placas (6 y 7) y los cilindros neumáticos de carrera corta (4 y 5), como se puede ver en la figura 4.3.

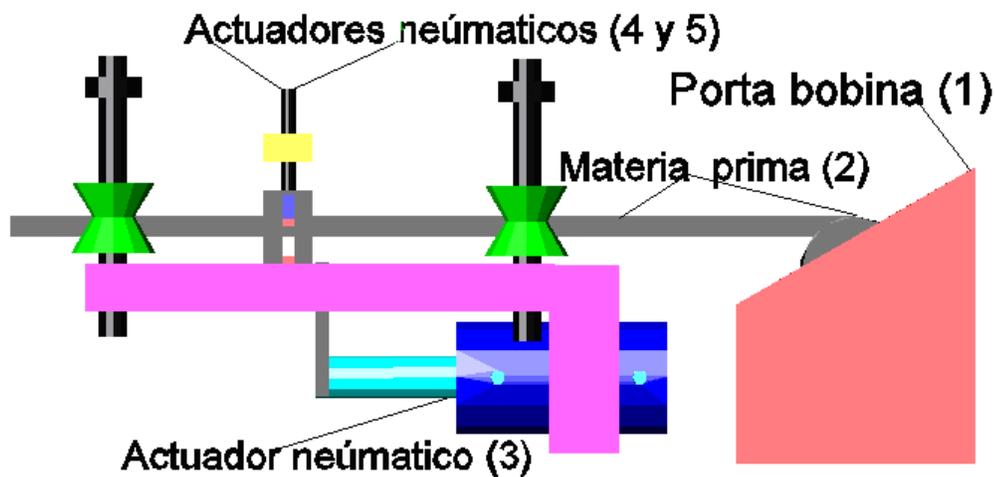


Figura 4.3. Sección A de la posible solución N° 1.

Cuando los cilindros de carrera corta (4 y 5) bajan (extienden su vástago) simultáneamente hacen que la placa (6) a la cual están conectados baje, es decir, se mueva hacia la placa (7) que esta fija. Las placas (6 y 7) poseen una superficie interna de goma, para obtener mayor adherencia a la lámina de metal (materia prima 2). Entonces cuando la placa (6) (por efecto del accionamiento de los cilindros 4 y 5) presiona la lámina de materia prima contra la placa (7), inmediatamente se activa el cilindro neumático que empuja al conjunto de la sección (A) a través de los rieles de la estructura como se puede observar en la figura 4.4.

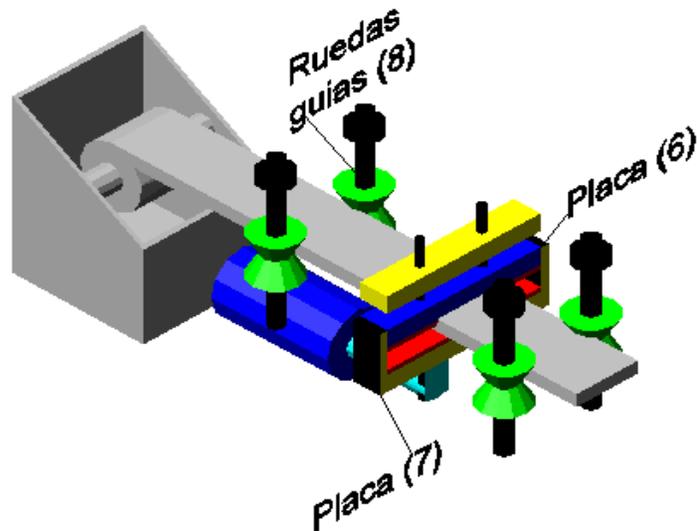


Figura 4.4. Estructura del sistema de la solución 1

Como el material estaba presionado con las placas (6 y 7) es obligado a desenrollarse del porta bobina y entra o alimenta la prensa. Cuando el pistón (3) llega al final de su carrera (la cual puede ser regulable) se retraen los vástagos de los cilindros de carrera corta (4 y 5) subiendo la placa (6) liberando la lamina de materia prima (2). Entonces el actuador del cilindro (3) regresa a su posición inicial sin movilizar la materia prima y se repite nuevamente el proceso. En la figura 4.5 se observa el conjunto armado de la solución 1.

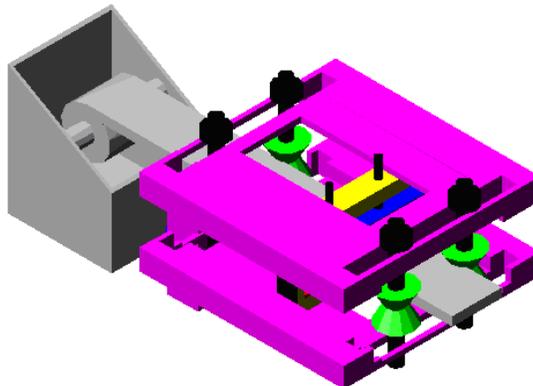


Figura 4.5. Conjunto armado de la solución 1

- **Posible solución N° 2.**

Esta posible solución tiene una estructura que consta de cuatros (4) ruedas guías colocadas en la sección A y B las misma se muestran en la figura 4.6. Las ruedas guías son cruzadas o traspasadas por un eje roscado que posee una manilla para el cierre rápido. Las ruedas guías 1 y 2 se mueven a través de una ranura en la sección A y las ruedas guías 3 y 4 se mueven a través de la ranura ubicada en la sección B.

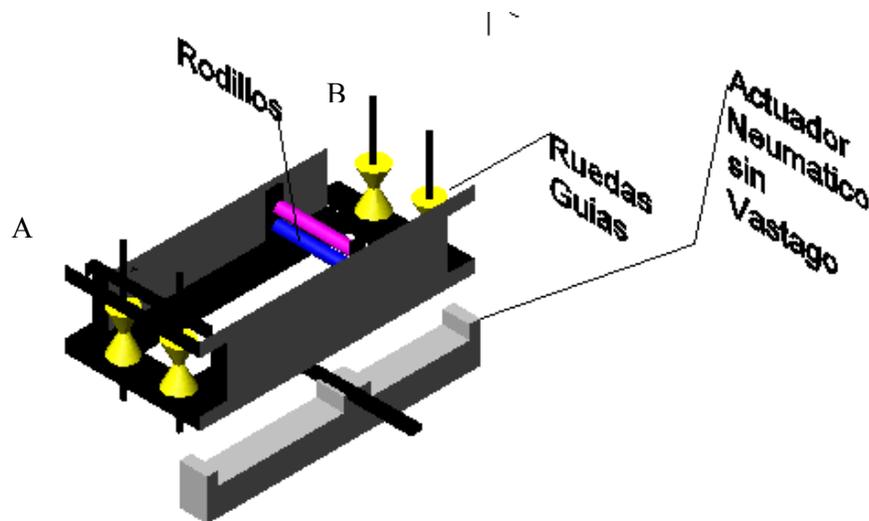


Figura 4.6. Estructura de la posible solución 2.

La función que cumplen las ruedas guías en sus respectivas secciones A y B, es la de guiar o dirigir y mantener un nivel de tensión en el material; al poder moverse horizontalmente permite que el sistema se adapte a distintos anchos de material, es importante acotar que la movilización de las ruedas es manual.

En la sección C del conjunto se encuentra el sistema encargado de halar las laminas de material y alimentar la prensa troqueladora, el conjunto consta de un actuador neumático sin vástago de carrera regulable y de dos (2) rodillos de goma con rodamientos con autobloqueo (estos solo pueden girar en un solo sentido) en

sus extremos, todos lo antes mencionados son los elementos principales. El sistema funciona de la siguiente manera, los rodillos de goma están colocados uno sobre el otro con cierta separación que es regulable (la regulación podría hacerse manual o semi-automáticamente) para ajustarse al espesor de la lamina, el mecanismo de rodamientos que poseen ambos rodillos en sus extremos le permiten girar solo en un sentido (en este caso en sentido AB). Los dos (2) rodillos están unidos al carro del actuador neumático de forma tal que se mueven paralelamente con el. Entonces cuando el carro del actuador se mueve en sentido BA hala la lámina de material, porque en este sentido los rodillos no pueden girar en su propio eje y al estar ajustados a la lámina se genera una mayor fricción entre ellos, que es suficiente como para que se hale el material. Cuando el carro del actuador va de regreso, es decir, en sentido AB para volver a la posición inicial los rodillos pueden girar en su propio eje y no se crea la suficiente fricción como para mover la lámina de material. En la figura 4.7 se observa el conjunto armado de la posible solución 2.

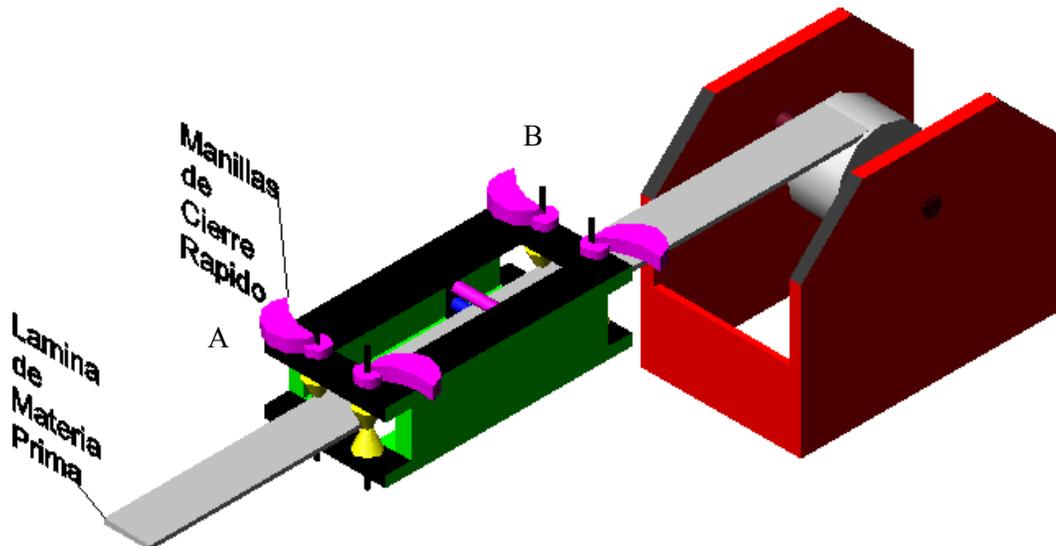


Figura 4.7. Conjunto armado de la posible solución 2

- **Posible solución N° 3**

El siguiente sistema consta de una bobina (Rollo de materia prima) el cual va a hacer procesado, cuando se va a dar inicio al proceso, el operador pasa por un conjunto de rodillos libres, el material a procesar para mantenerlo a nivel de la matriz hasta llevarlo a los topes que van a garantizar la posición correcta de la misma, posteriormente el operador debe ajustar la distancia entre los rieles para que las pinzas puedan sujetar el material.

Cuando se lleva a cabo el troquelado, la pieza queda sobre la matriz, esta es enviada a un depósito de piezas ya procesadas, utilizando una tubería por la que fluye aire a presión la cual permite el flujo de fluido hacia el exterior cuando ya se ha troquelado la pieza. En la figura 4.8 se observa la posible solución 3.

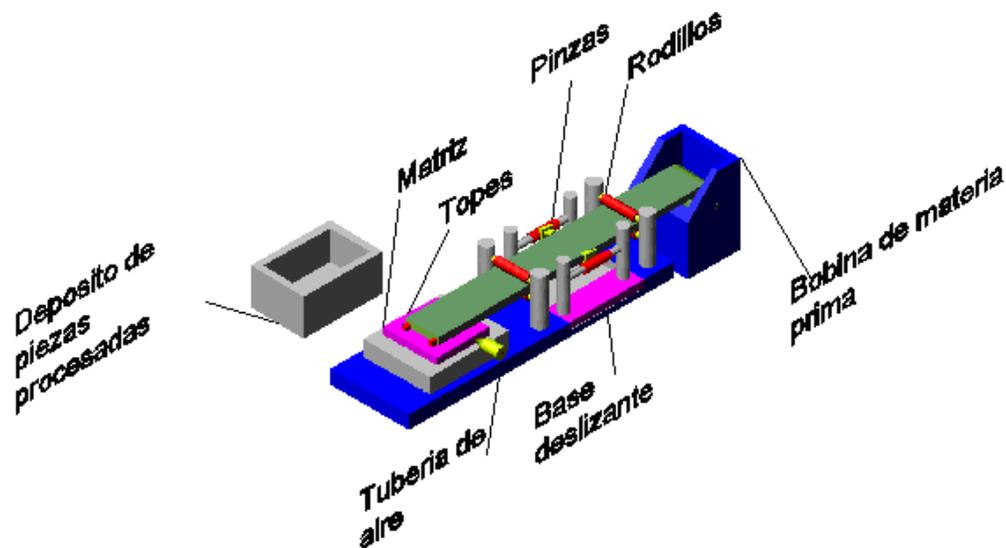


Figura 4.8. Posible solución 3.

Posteriormente las pinzas sujetan el material a procesar trasladándolo hacia la matriz donde se obtendrá una nueva pieza repitiéndose el proceso antes descrito.

Selección de la mejor solución

Se selecciono el método de ponderación de criterios y soluciones para seleccionar la solución que mejor se ajuste al sistema a diseñar.

El método consta de las siguientes 3 etapas:

1. Se estudian todas las probables soluciones generadas durante la etapa de búsqueda. El diseñador debe efectuar un análisis de las probables soluciones con el propósito de comprenderlas mejor, captar sus ventajas y desventajas, e incluso hacer modificaciones si lo considera necesario. El analista adquiere así una visión de conjunto del resultado de la etapa de búsqueda de soluciones y queda en mejores condiciones para seleccionar el curso más apropiado.
2. Se aplican las restricciones a todas las probables soluciones teniendo en cuenta las siguientes premisas:
 - Las restricciones permiten eliminar probables soluciones, sin necesidad de compararlas entre sí.
 - Para que una probable solución se convierta en solución es necesario que cumpla con todas las restricciones del problema.

CÁLCULOS

CAPÍTULO IV

3. Se aplican criterios a las posibles soluciones. Esta etapa consta de tres pasos:

- Ponderación de criterios
- Ponderación de soluciones de acuerdo a cada uno de los criterios.
- Ponderación final de soluciones.

4.3. CRITERIOS

- C_1 = Menor Costo.
- C_2 = Menor tiempo de fabricación
- C_3 = Mayor facilidad para transportar el sistema.
- C_4 = Menor tiempo de puesta a punto del sistema.
- C_5 = Mayor facilidad para realizar mantenimiento al sistema.

4.4. RESTRICCIONES

- R_1 = El sistema de alimentación debe ser capaz de procesar tiras de 7 a 9 cm de ancho.
- R_2 = Las dimensiones del sistema de alimentación no debe ser mayor de 2m de largo.
- R_3 = El sistema de alimentación debe adaptarse a espesores de hasta 3mm.
- R_4 = El sistema de alimentación no debe sobrepasar los 250Kg.
- R_5 = El tiempo de fabricación del sistema debe ser de 20 días.

Aplicaciones de restricciones a probables Soluciones.

Tabla 4.1. Aplicación de las restricciones a las posibles soluciones.

	(PS) ₁	(PS) ₂	(PS) ₃
R ₁	Si	Si	No
R ₂	Si	Si	Si
R ₃	Si	Si	Si
R ₄	Si	Si	Si
R ₅	Si	Si	Si

Ponderación de Criterios

Tabla 4.2. Ponderación de criterios.

	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	No. De Veces	PC _X
C ₁						2	PC ₁ = 3
C ₂	C ₁					0	PC ₂ = 1
C ₃	C ₁	C ₃				1	PC ₃ = 2
C ₄	C ₄	C ₄	C ₄			4	PC ₄ = 5
C ₅	C ₅	C ₅	C ₅	C ₄		3	PC ₅ = 4
Orden importancia	3 ^{ro}	5 ^{to}	4 ^{to}	1 ^{ro}	2 ^{do}		

Verificación Lógica

Tabla 4.3. Verificación lógica de la ponderación de criterios.

Columna 2			Columna 4		
(2,3)	$C_2 < C_1 > C_3$	C ₃	(4,5)	$C_4 > C_3 < C_5$	C ₄
(2,4)	$C_2 < C_1 < C_4$	C ₄	(4,5)	$C_4 > C_2 < C_5$	C ₄
(2,5)	$C_2 < C_1 < C_5$	C ₅	(4,5)	$C_4 > C_1 < C_5$	C ₄
Columna 3					
(3,4)	$C_3 > C_2 < C_4$	C ₄			
(3,5)	$C_3 > C_2 < C_5$	C ₅			
(3,4)	$C_3 < C_1 < C_4$	C ₄			
(3,5)	$C_3 < C_1 < C_5$	C ₅			

Ponderación de Soluciones Respecto a Criterio

Tabla 4.4. Ponderación de soluciones respecto C₁.

C ₁	S ₁	S ₂	No. De Veces	P _{X1} = N
S ₁			1	P ₁₁ =2
S ₂	S ₁		0	P ₂₁ =1
Orden aceptación	1 ^{ro}	2 ^{do}		

Tabla 4.5. Ponderación de soluciones respecto a C₂.

C ₂	S ₁	S ₂	No. De Veces	P _{X2= N}
S ₁			0	P ₁₂ = 1
S ₂	S ₂		1	P ₂₂ = 2
Orden aceptación	2 ^{do}	1 ^{ro}		

Tabla 4.6. Ponderación de soluciones respecto a C₃.

C ₃	S ₁	S ₂	No. De Veces	P _{X3 = N}
S ₁			1	P ₁₃ = 2
S ₂	S ₁		0	P ₂₃ = 1
Orden aceptación	1 ^{ro}	2 ^{do}		

Tabla 4.7. Ponderación de soluciones respecto a C₄.

C ₄	S ₁	S ₂	No. De Veces	P _{X4 = N}
S ₁			0	P ₁₄ = 1
S ₂	S ₂		1	P ₂₄ = 2
Orden aceptación	1 ^{ro}	2 ^{do}		

Tabla 4.8. Ponderación de soluciones respecto a C₅.

C ₅	S ₁	S ₂	No. De Veces	P _{X5 = N}
S ₁			1	P ₁₅ = 2
S ₂	S ₁		0	P ₂₅ = 1
Orden aceptación	1 ^{ro}	2 ^{do}		

Ponderación Final

Tabla 4.9. Ponderación final de soluciones.

PC_x	P_{1x}	$PC_x \cdot P_{1x}$	P_{2x}	$PC_x \cdot P_{2x}$
PC_1	P_{11}	3.2	P_{21}	3.1
PC_2	P_{12}	1.1	P_{22}	1.2
PC_3	P_{13}	2.2	P_{23}	2.1
PC_4	P_{14}	5.1	P_{24}	5.2
PC_5	P_{15}	4.2	P_{25}	4.1
		$\sum (PC_x \cdot P_{1x}) = 24$	$\sum (PC_x \cdot P_{2x}) = 21$	

La solución que más se adapta a los criterios y restricciones exigidos es la Solución N° 1.

4.5. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA A DISEÑAR

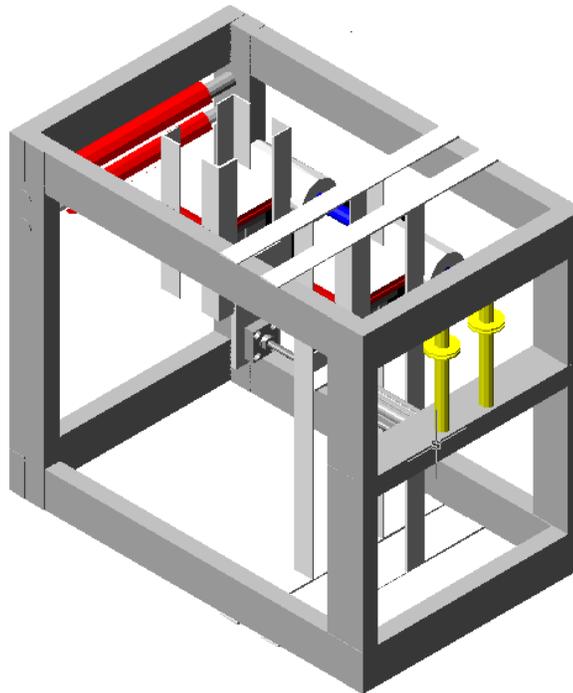


Figura 4.9. Sistema de alimentación

En la figura 4.9 se muestra el sistema de alimentación semi-automático de materia prima para las prensas troqueladoras de la empresa **TROQUENAL**. La función general del sistema es la de halar la materia prima de la bobina e introducirlo al troquel de la prensa para que este material sea procesado.

Los sistemas de alimentación, prensa y bobina constituyen un conjunto general que tiene como objetivo producir piezas troqueladas de manera semi-automática. Estos tres sistemas deben funcionar sincronizadamente de tal manera que el conjunto en general pueda llevar a cabo su objetivo.

Este trabajo centrará su atención en el sistema de alimentación. A continuación se describe detalladamente el funcionamiento del mismo.

El sistema de alimentación puede sub-dividirse en los siguientes sistemas:

1. Rodillos guías
2. Sistema de impulsión
3. Sistema de sujeción
4. Rodillos auto centranes

En la figura 4.10 se pueden apreciar estos sistemas

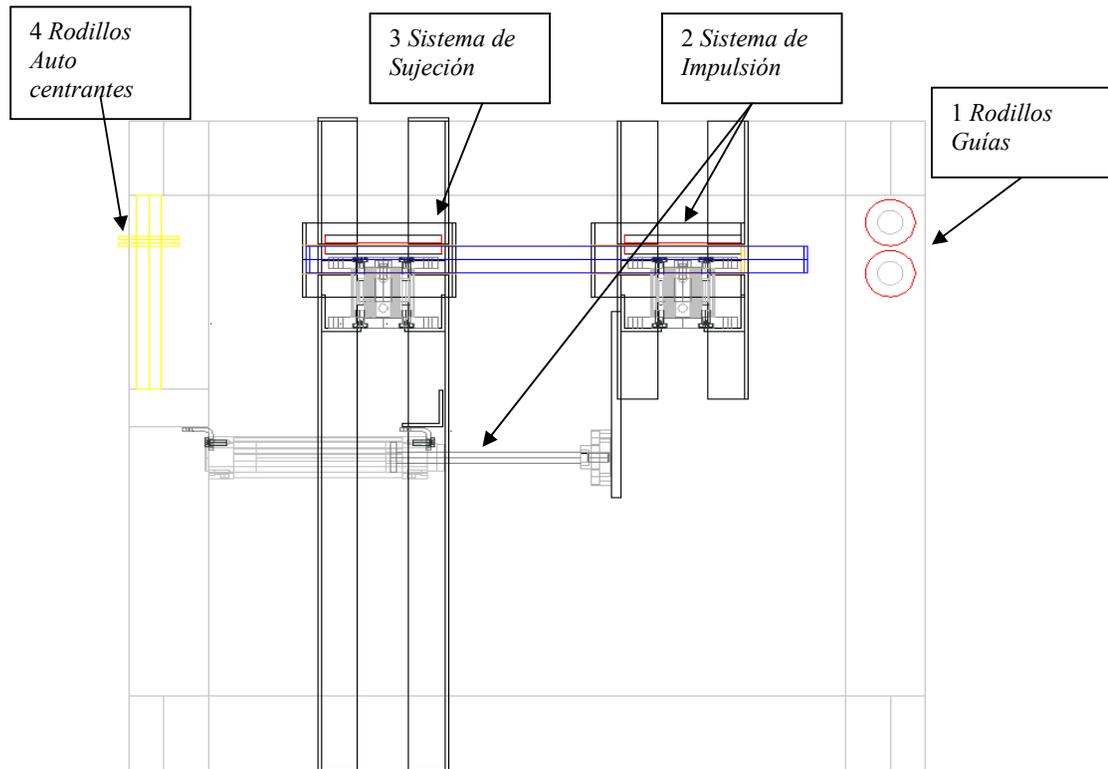


Figura 4.10. Sub-sistemas del sistema de alimentación

Los rodillos guías permiten alinear la lámina para que la misma entre de forma correcta al sistema. La lámina que se va desenrollando de la bobina lo hace con un ángulo variable respecto al sistema de alimentación, esto es debido a que el diámetro externo de la bobina se reduce a medida que se va desenrollando material, los rodillos guías mantienen la lámina orientada correctamente, es decir, en posición horizontal.

En la figura 4.11 se pueden observar los elementos antes mencionados como lo son los rodillos guías y la bobina de material.

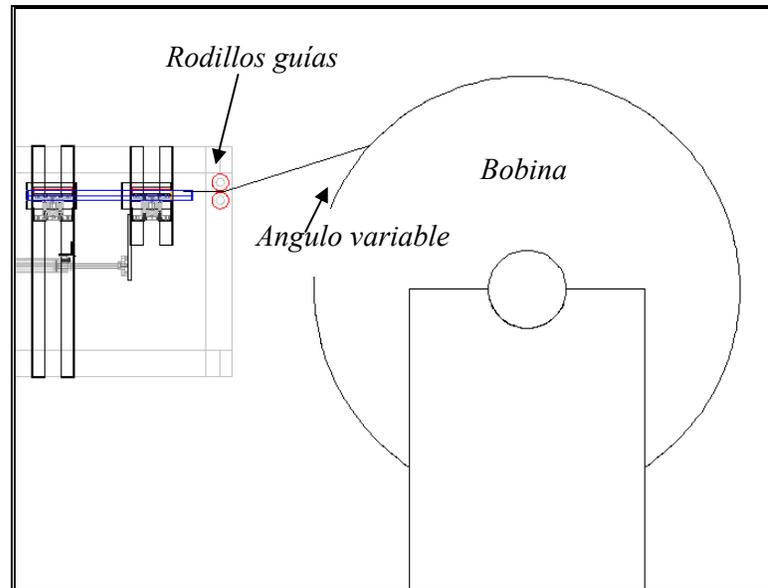


Figura 4.11 Función de los Rodillos guías.

En el sistema de impulsión (figura 4.12) uno de los componentes principales es un cilindro o actuador neumático de doble efecto (actuador “A”). La función de este actuador es generar la fuerza de impulsión para mover el conjunto donde se encuentra el actuador B y a su vez desenrollar el material de la bobina.

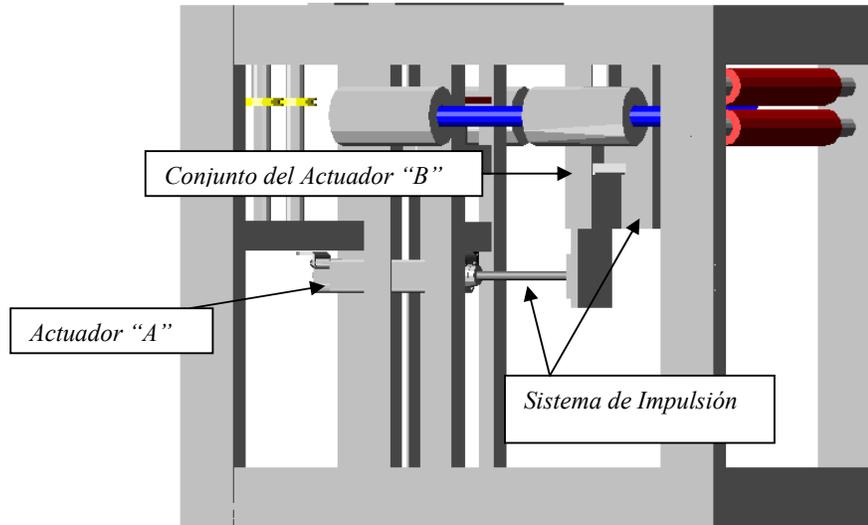


Figura 4.12. Sistema de impulsión.

Cada vez que el cilindro neumático mueva su vástago debe transmitir este movimiento al conjunto del actuador "B", el cual tiene como función comprimir la lámina de material generando la fricción suficiente que permita mover esta lamina consigo cada vez que el conjunto del actuador "B" se mueva en dirección a la prensa. Dos placas metálicas con cubierta de goma (neopreno) en una de sus caras son las que deben de entrar en contacto directo con la lámina de material a troquelar una de estas placas está fija en la parte superior del conjunto del actuador "B" y la otra se mueve con el vástago de este actuador, de tal manera que cuando el cilindro neumático (actuador "B") es activado extiende su vástago y mueve la placa fijada al mismo, comprimiendo la lámina de materia prima contra la placa que esta fija a la parte superior del conjunto. La presión que se ejerce es suficiente para sujetar la lámina, entonces cuando el actuador "A" hace mover al conjunto donde se encuentra el actuador "B" se moviliza la lámina con éste y es empujada hacia el troquel de la prensa.

En la figura 4.13 se pueden observar, los otros componentes principales del sistema de impulsión como lo son el actuador neumático de doble efecto (actuador “B”) y las dos placas de contacto.

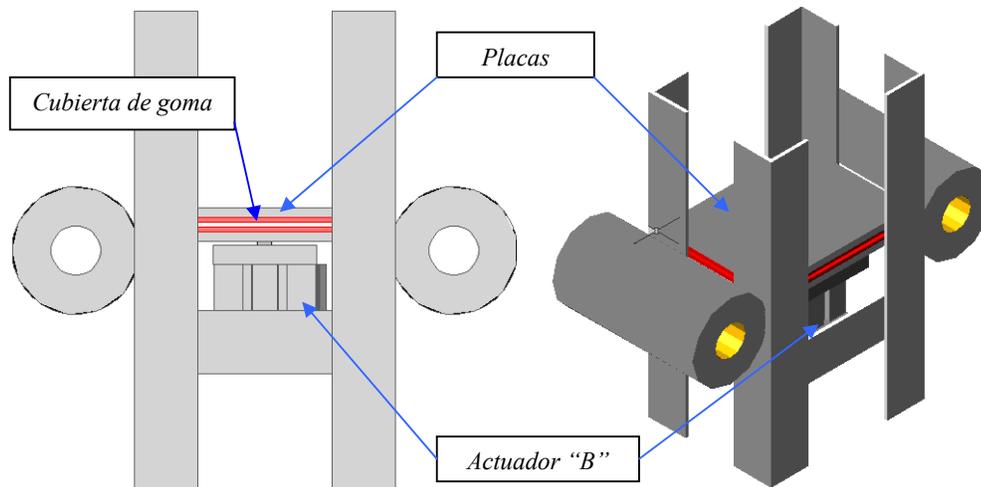


Figura 4.13. Vista frontal e Isometría del Conjunto del actuador “B”.

El actuador “A” posee como una de sus características de fábrica, topes mecánicos que se pueden posicionar manualmente y permiten ajustar el recorrido del vástago de este actuador neumático, válvulas de escape rápido colocadas en las conexiones del actuador ayudan a obtener una mayor velocidad de respuesta. Esto se hace con la finalidad de regular el recorrido que tendrá el conjunto del actuador “B” y por consiguiente la cantidad de material (paso de la lámina) que entrará al troquel de la prensa.

El sistema de sujeción (figura 4.14) posee un actuador neumático de doble efecto (actuador “C”) y dos placas metálicas cubiertas en una de sus caras con goma, este sistema es similar al conjunto donde se encuentra el actuador “B” en cuanto a la geometría y disposición de las distintas piezas.

El sistema de sujeción es fijo, el mismo no moviliza la lámina sino que la mantiene fija en una posición para evitar movimientos no deseados, al momento que ésta se va a troquelar. Entonces cuando el cilindro extiende su vástago mueve una de las placas metálicas contra la otra placa comprimiendo o sujetando la lámina de materia prima entre ellas y con esto evita que la misma se mueva.

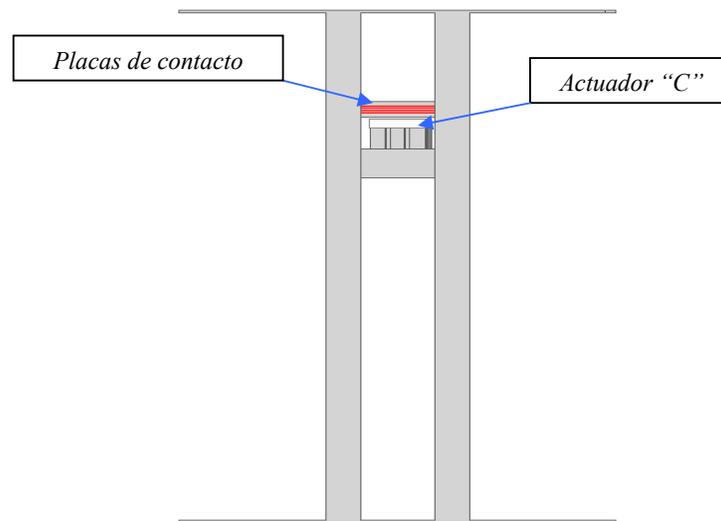


Figura 4.14. Sistema de sujeción.

Los rodillos auto-centrantes (figura 4.15) pueden adaptarse a distintos anchos de lámina y a su vez mantienen centrada la lámina. Estos están ubicados sobre ejes colocados verticalmente que permiten a los rodillos auto-centrantes girar sobre estos. La lámina de material debe pasar entre los dos rodillos los cuales restringen los movimientos de ésta, para mantenerla centrada en todo momento respecto al troquel.

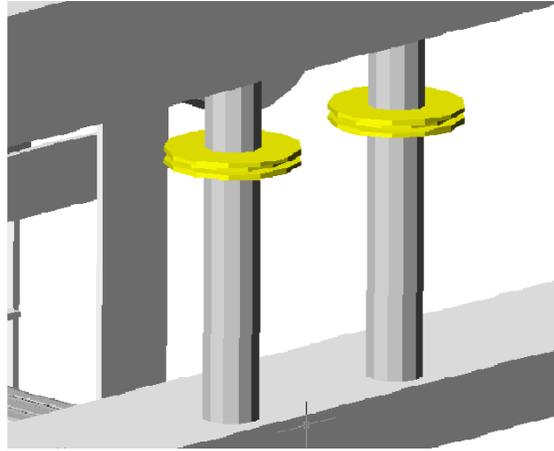


Figura 4.15. Rodillos auto-centrantes

4.6. CÁLCULOS PARA EL SISTEMA DISEÑADO.

4.6.1. Sistema de impulsión

El sistema de impulsión requiere de dos actuadores (actuador “A” y actuador “B”) los cuales serán seleccionados en base a los cálculos desarrollados en esta sección.

A continuación se procederá a determinar el valor de la fuerza (F_1) que tiene que aplicar el actuador “A” para lograr desenrollar la lámina de la bobina e introducirla al troquel. Se inicia analizando las reacciones que genera la fuerza F sobre los rodillos, éstas se muestran en la figura 4.16.



Figura 4.16. Reacción de los rodillos por acción de la fuerza F_1 .

Se descompone la fuerza F con lo que se obtiene:

$$F_x = F \cdot \cos \alpha$$

$$F_y = F \cdot \sin \alpha$$

La componente F_x es la fuerza que tendrá que aplicar el actuador A para poder halar el material, ésta será máxima cuando el ángulo α sea cero, la componente F_y se anula por lo que F_1 es igual F_x . En la figura 4.17 se plantea un esquema donde se representa la bobina y la fuerza (F_1) del actuador A.

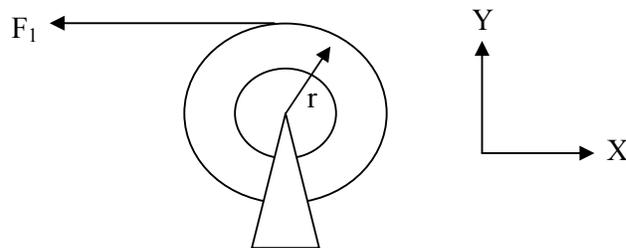


Figura 4.17. Esquema de la bobina de materia prima.

Basándose en las ecuaciones de rotación de cuerpos en un plano alrededor de un eje fijo descritas en el la pagina 20 del capitulo 3 del Manual del Ingeniero Mecánico, tenemos que:

$$\sum M = F_1 \cdot r = I_m \cdot \alpha \quad \text{Ec. 4-1}$$

$$\theta = \frac{1}{2} \alpha \cdot t^2 \quad \text{Ec. 4-2}$$

Donde:

I_m = Inercia de masa de la bobina ($m \cdot \text{cm}^2$)

α = Aceleración angular del cuerpo. (rad / s²)

θ = Desplazamiento angular de la bobina. (rad)

t = Tiempo (s)

M = Momento torsor (N•m)

Para determinar la inercia de masa de la bobina se utilizará la Ec. 4-3, es necesario conocer la masa de la misma la cual se obtiene con la Ec. 4-4 utilizando el peso específico y el volumen del material.

$$I_m = \frac{1}{2} \cdot m \cdot (r_{ext}^2 - r_{int}^2) \quad \text{Ec. 4-3}$$

$$m = \gamma_{acero} \cdot V \quad \text{Ec. 4-4}$$

Donde:

m = Masa de la bobina (g)

$$\gamma_{acero} = \text{Peso específico de la bobina} = 7.95 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

V = Es volumen de la bobina el cual se obtiene al utilizar la ecuación 4-5 de volumen para un cilindro:

$$V = \pi \cdot (r_{ext}^2 - r_{int}^2) \cdot a \quad \text{Ec. 4-5}$$

Donde:

r_{ext} = Radio externo de la bobina = 49 cm

r_{int} = Radio interno de la bobina = 24.5 cm

$$a = \text{Ancho de la bobina} = 7.5 \text{ cm}$$

$$V = 42994.89 \text{ cm}^3$$

$$m = 337510 \text{ g} = 337.51 \text{ Kg}$$

Sustituyendo en la Ec. 4-3 el valor de la masa, radio externo e interno de la bobina se obtiene:

$$I_m = 30.38 \text{ Kg m}^3$$

Se debe determinar la cantidad de material que se desenrolla de la bobina para lo cual se plantea lo siguiente, para fabricar una pieza de *soporte común* es necesario que el actuador "A" tenga un recorrido de 80mm y para un aspa de ventilador se requiere que el actuador "A" tenga un recorrido de 100mm, por lo tanto los cálculos para obtener el ángulo que tiene que girar la bobina en su condición mas crítica se hace en base a un recorrido de 100mm.

En la figura 4.18 se observa un esquema de la sección de una circunferencia la cual se utilizará para determinar el ángulo que tiene que girar la bobina para desenrollar 100mm de material.

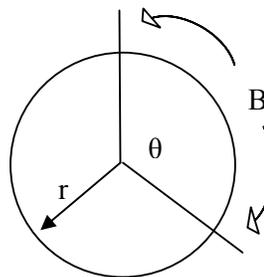


Figura 4.18. Perímetro de una Circunferencia.

CÁLCULOS

CAPÍTULO IV

Basándose en la figura anterior se plantea la ecuación de perímetro de una circunferencia:

$$S = \theta \cdot r_{ext} \quad \text{Ec. 4-6}$$

Donde:

S = Perímetro = 10 cm

θ = Angulo en radianes

r_{ext} = Radio Externo de la bobina.

Sustituyendo los valores y despejando se obtiene:

$$\theta = 0.20 \text{ rad}$$

Por los datos de placa de la prensa se sabe que la misma tiene una capacidad de 60 golpes/min lo que es igual a 1 golpe/s, por lo que el material debe ser introducido en el troquel en un tiempo menor si se quiere obtener el máximo rendimiento de la máquina. Como se va a utilizar un actuador neumático para halar el material este debe extender y retraer su vástago en un tiempo máximo de 1s (0.5s en extensión y 0.5s en retracción). Por este razonamiento se puede considerar que el tiempo a utilizar es de $t=0.5s$.

Sustituyendo el tiempo y el valor del ángulo antes calculado en la Ec. 4 – 2 se consigue la aceleración angular de la bobina:

$$\alpha = 1.6 \frac{\text{rad}}{\text{s}^2}$$

CÁLCULOS

CAPÍTULO IV

Con la aceleración angular y la Ec. 4-1 se obtiene F_1 que es la fuerza necesaria para desenrollar 100mm de la lámina de la bobina.

$$F_1 = 99.20N$$

Con la fuerza antes calculada y basándose en las características del medio ambiente de trabajo y teniendo presente que se quieren equipos con poco mantenimiento para aumentar la productividad se selecciona del catálogo de la compañía FESTO de cilindros guiados DFM / DFM-B que se encuentra en el anexo B, y en éste se selecciona el actuador que se adaptó a las características mencionadas.

Características del actuador seleccionado:

Código = 532318 DFM-32-125-B-P-A-KF-EJ

Diámetro del embolo= 32mm

Fuerza = 415N

Carrera = 125mm

Peso total = 3665.8 g

Con la fuerza calculada F_1 y la del actuador seleccionado anteriormente se determina el factor de seguridad de este actuador.

$$N_{actuador} = \frac{415N}{99.20N} = 4.18$$

Como el factor de seguridad es mayor a la unidad (1) se puede utilizar el actuador seleccionado ya que garantiza que cumplirá con la función para la cual fue seleccionado.

4.6.2. Cálculos de Soldadura para el sistema de impulsión.

El actuador A al extenderse y retraerse ejerce una fuerza para poder halar al conjunto al cual esta sujeto el actuador B, adicionalmente genera el torque en la bobina para poder desenrollar el material, por lo que es necesario que éste se encuentre bien sujeto a su base para poder transmitir correctamente la fuerza, por lo que se seleccionaron los elementos que pueden ser observados en la figura 4.19. Se utilizará un par de pies de fijación los cuales están sujetos en uno de sus extremos a tubos estructurales por medio de tornillos, a su vez estos tubos están unidos a la estructura del sistema de alimentación por cordones de soldadura los cuales se observan en la figura 4.20.

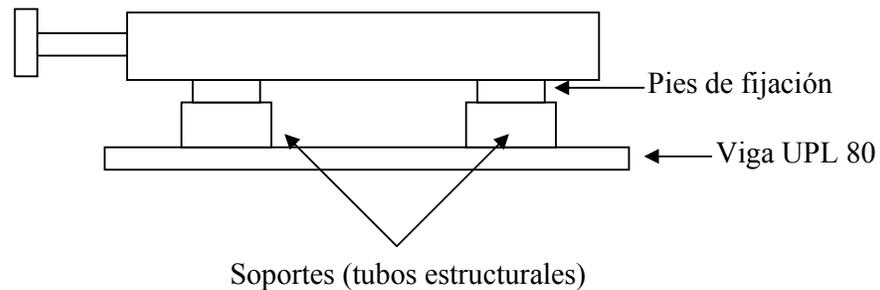


Figura 4.19. Vista lateral de los soportes del actuador A.

Como la fuerza ejercida por el actuador A tiene que ser soportada por cada uno de los tubos estructurales y estos al estar sometidos a las mismas condiciones de esfuerzos tendrán comportamientos similares, por lo tanto se realizan los cálculos para un tubo estructural.

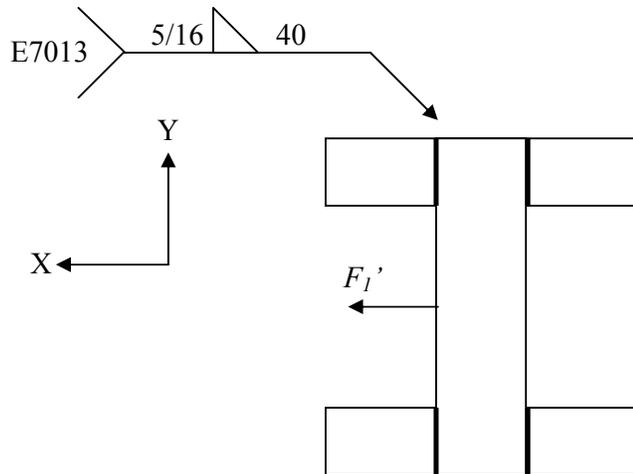


Figura 4.20. Vista de los sujetadores del actuador A donde se observan los cordones de soldadura.

F_1' es la fuerza ejercida por el actuador A seleccionada en el catalogo de festo en la sección 4.6.1.

$$F_1' = 415N$$

Los materiales a unir por soldadura son las vigas UPL 80 las cuales son de Acero 1025 cuyo esfuerzo ultimo a tensión (S_{ut}) es de 245.25 MPa y los tubos estructurales de sección rectangular cuyo esfuerzo ultimo a tensión (S_{ut}) es de 344.82 MPa estos valores fueron extraídos del catálogo de productos siderúrgicos de Ferrum empresa dedicada a la comercialización de vigas y perfiles estructurales. Este catalogo se encuentra en el anexo A.

De la tabla 9-2 del Shirley de la pag. 545 se obtiene:

$$A = 1.414 \cdot h \cdot d \quad \text{Ec. 4-7}$$

$$\bar{x} = \frac{b}{2}$$

$$\bar{y} = \frac{d}{2}$$

$$J_u = \frac{d \cdot (3 \cdot b^2 + d^2)}{6} \quad \text{Ec. 4-8}$$

Donde:

A = Es el área de la garganta

\bar{x} = Posición centroidal respecto al eje x

\bar{y} = Posición centroidal respecto al eje y

J_u = Segundo momento polar de inercia del área unitaria

b = Separación entre cordón y cordón de soldadura.

d = Longitud del cordón de soldadura.

$d = 40\text{mm} \approx 1.38 \text{ in}$

$b = 80\text{mm} \approx 3.15 \text{ in}$

Con las propiedades de los materiales base, se selecciona de la tabla 9-4 de la pag 551 del Shirley las propiedades que debe tener el electrodo para poder realizar la soldadura.

E70XX

Con el tipo de carga y el tipo de soldadura se selecciona de la tabla 9-5 de la pag 551 del Shirley el esfuerzo permisible para el metal de aporte, con lo cual se calcula el factor de seguridad para determinar si el tipo de soldadura es la correcta.

$$\tau_{perm} = 0.60 \cdot S_y \quad \text{Ec. 4-9}$$

Donde:

S_y = Esfuerzo de fluencia del material de aporte

$$S_y = 393MPa$$

Sustituyendo en la Ec. 4-9

$$\tau_{perm} = 235MPa$$

Con el espesor de las partes a soldar y utilizando la tabla 9-7 del Shirley pag 553 se obtiene el tamaño mínimo de soldadura de filete h.

$$h = \frac{5}{16} in \cong 7.94mm$$

Sustituyendo h y d en la Ec. 4-7 se obtiene:

$$A = 449.08mm^2$$

Sustituyendo los valores de b y d en la Ec 4-8 se obtiene:

$$J_u = 138666.67mm^3$$

Como la soldadura es de filete se tiene la siguiente ecuación:

$$J = 0.707 \cdot h \cdot J_u \quad \text{Ec. 4-10}$$

Donde J es el momento de Inercia, sustituyendo los valores se obtiene:

$$J = 778416.44 \text{ mm}^4$$

Con los valores antes obtenidos y utilizando las siguientes ecuaciones calculamos τ' y τ'' .

$$\tau' = \frac{F_1'}{A} \quad \text{Ec. 4 - 11}$$

$$\tau'' = \frac{M_t \bullet c}{J} \quad \text{Ec. 4. - 12}$$

Donde:

F_1' = Fuerza ejercida por el actuador A

A = Área de la garganta de la soldadura.

M_t = Momento torsor respecto al centroide de la soldadura.

J = Inercia geométrica

c = Distancia del centroide de la soldadura al punto mas alejado.

τ' = Esfuerzo cortante directo

τ'' = Esfuerzo cortante por acción del momento torsor.

Para el cálculo del momento torsor se considero que el actuador A esta ubicado a 0.215 m de cada uno de los cordones de soldadura, por lo tanto:

$$M_t = F_1' \bullet l$$

$$M_t = 89225 \text{ Nmm}$$

Sustituyendo los valores correspondientes en la Ec. 4-11 y en la Ec 4.-12 se obtiene:

$$\tau' = 0.92 \text{ MPa}$$

$$\tau'' = 5.13 \text{ MPa}$$

Para obtener el τ_{total} es necesario descomponer τ'' en τ_x'' y τ_y'' ya que este esfuerzo cortante se encuentra en un plano distinto al de τ' , posteriormente se realiza la suma vectorial de los esfuerzos cortantes en X y en Y para finalmente obtener el esfuerzo cortante total que actúa sobre el cordón de soldadura. En la figura 4.21 se observa la descomposición de τ'' y la obtención del τ_{total} .

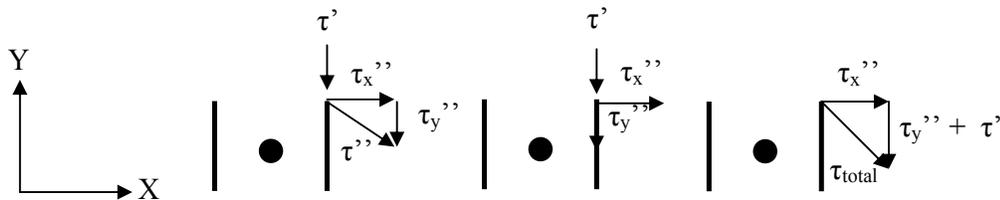


Figura 4.21. Descomposición de τ'' en τ_x'' , τ_y'' para obtener el τ_{total} .

$$\tau' = 6.01 \text{ MPa}$$

Calculando el factor de Seguridad para la soldadura se obtiene:

$$N = \frac{\tau_{perm}}{\tau_{total}} \quad \text{Ec.4-13}$$

$$N = 34.4$$

Con $N = 34.4$ se demuestra que la longitud del cordón, el material de aporte y el tipo de soldadura seleccionada resisten el estado de esfuerzos al que están sometido garantizando la unión entre los dos elementos.

4.6.3. Selección del Actuador B.

El conjunto del actuador B se puede observar en la figura 4.13 de la sección 4.5 de la descripción del sistema, este conjunto se encarga de sujetar el material que va a ser introducido en el troquel. Por lo que el actuador B tiene que garantizar que el material no se deslice entre las mordazas, para lo cual se han realizado los siguientes cálculos. Primero se realiza un diagrama de cuerpo libre como el que se observa en la figura 4.22, posteriormente se realiza sumatorias de fuerzas en el eje X y Y, seguidamente se plantea la fuerza de roce en función del coeficiente de roce y la fuerza normal, para luego establecer un sistema de tres incógnitas con tres ecuaciones. Conocido el valor de F_2 se realiza la selección del actuador B.

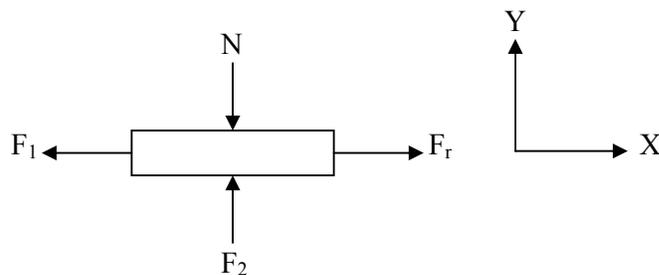


Figura 4.22. D.C.L del material cuando es sujetado por el conjunto del actuador B.

Realizando sumatoria de fuerzas en el eje X:

$$F_r - F_1 = 0 \quad \text{Ec. 4 -14}$$

$$F_r = F_1'$$

$$F_r = 415N$$

Realizando sumatorias de fuerzas en el eje Y:

$$F_2 - N = 0 \quad \text{Ec. 4-15}$$

$$F_2 = N$$

Con la fuerza de roce y el valor del coeficiente de fricción del neopreno se obtiene el valor de la normal.

$$F_r = \mu \cdot N \quad \text{Ec. 4-16}$$

$$N = \frac{F_r}{\mu}$$

$$N = \frac{415N}{0.6}$$

$$N = 691N$$

Sustituyendo el valor de N en la Ec. 4-15 se obtiene:

$$F_2 = 691N$$

Con el valor de F_2 , una carrera de 2.5mm y el catálogo de Festo para actuadores ADVU que está en el anexo B se realiza la selección del actuador B. El actuador seleccionado posee las siguientes características:

Código = 175765 ADVU-125-25-A-P-A

Fuerza = 7363 N

Diámetro = 125mm

Carrera = 2.5mm

Peso total = 3.846 Kg.

4.6.4. Cálculo para las vigas.

En estas vigas se apoya el conjunto en el cual está colocado el actuador “B”. La finalidad de estas vigas es que cuando el conjunto del actuador “B” presiona la lámina y luego es impulsado por el actuador “A”, pueda desplazarse deslizando sobre estas vigas cambiando así de posición. Como las vigas están sometidas a las mismas condiciones de esfuerzo se realizan los cálculos para una de ellas.

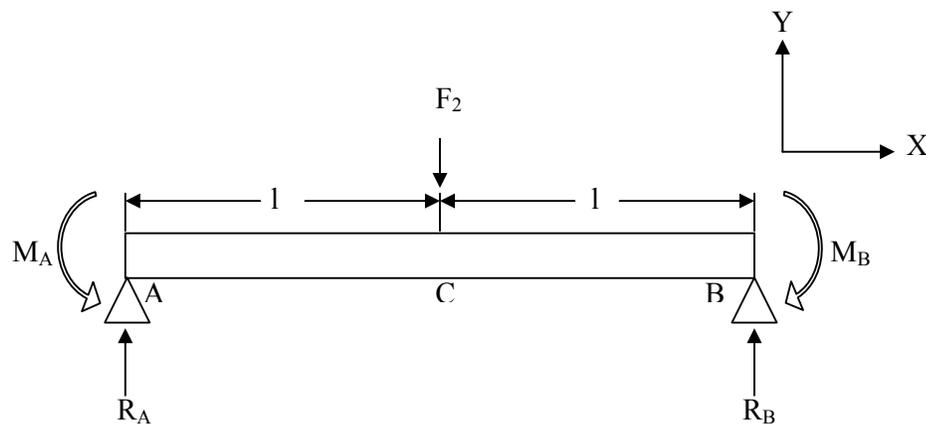


Figura 4.23. Diagrama para la viga.

En la figura 4.23 se muestra un diagrama de una de las vigas; donde F_2 representa la fuerza aplicada por el actuador “B”, R_A , R_B , M_A y M_B son las reacciones correspondientes a cada uno de los empotramientos y “ l ” representa la distancia desde un empotramiento hasta el punto medio de la viga.

Por simetría $R_A = R_B$ y $M_A = M_B$

Se sabe que:

$$l = 100 \text{ mm}$$

$$F_2 = 1178 \text{ N}$$

Apoyándose en el diagrama de la figura 4.17 y Realizando sumatoria de fuerzas en el eje “Y” (Ec. 4-17) y de momento respecto al punto “A” (Ec. 4-18), se encuentran los valores de las distintas reacciones.

$$\Sigma F_y = 0 \quad \text{Ec. 4-17}$$

$$\Sigma M_A = 0 \quad \text{Ec. 4-18}$$

$$R_A = R_B = 589 \text{ N}$$

$$M_A = M_B = 29.45 \text{ N}$$

En la figura 4.24 se observa el diagrama de corte y momento para la viga y se muestran los valores del corte y momento para las secciones más críticas (A, B y C).

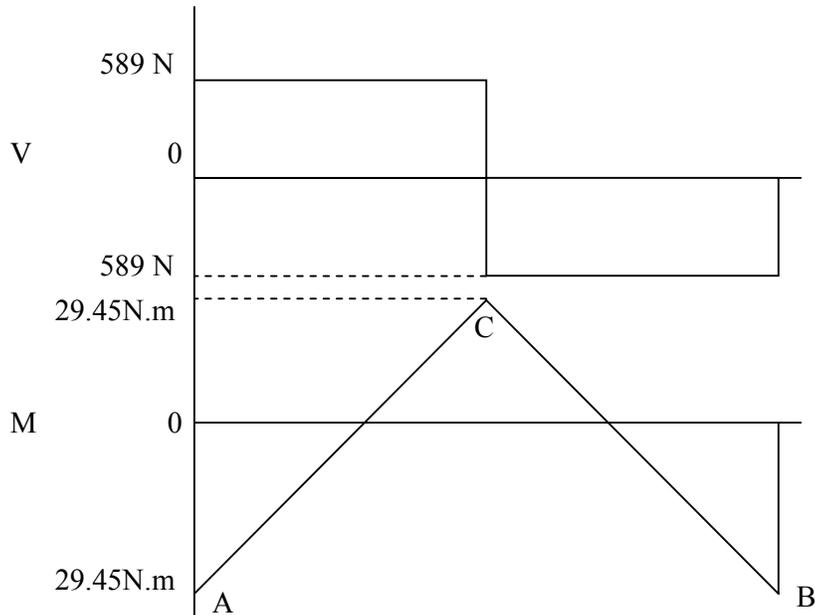


Figura 4.24. Diagramas de corte y momento

Cálculos suponiendo carga estática

Se utilizará un acero 1045HR con un $S_y = 310$ Mpa y $S_{ut} = 565$ Mpa (apéndice C del Norton) y un factor de seguridad $N = 2,5$ (sugerido por la empresa), se puede despejar entonces el valor de σ_{adm} de la Ec. 4-19.

$$N_y = \frac{S_y}{\sigma_{adm}} \quad \text{Ec. 4-19}$$

$$\sigma_{adm} = 124 \text{MPa}$$

Por Von Misses -Henki

$$\sigma_{adm} = \sqrt{(\sigma_{mf}^2 + 3 \cdot \tau_c^2)} \quad \text{Ec. 4-20}$$

Donde:

σ_{adm} : Esfuerzo admisible

σ_{mf} : Esfuerzo equivalente debido al momento flector

τ_c : Esfuerzo equivalente debido a la fuerza de corte.

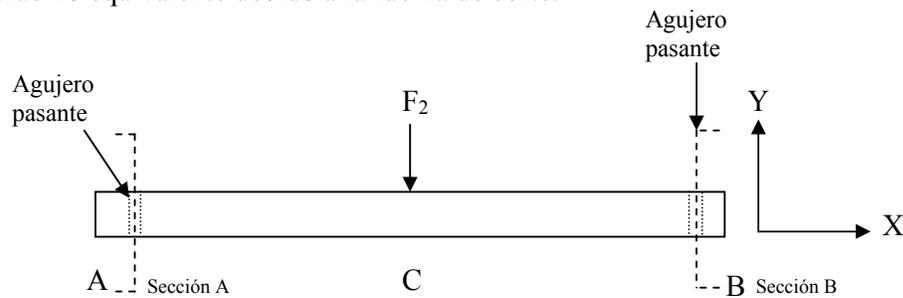


Figura 4.25. Vista de la viga deslizante.

La viga en las secciones A y B posee agujeros pasantes (figura 4.25) que sirven para fijarla a la estructura. Estos agujeros son concentradores de esfuerzo por lo que hay que considerar el efecto de estos en las secciones A y B. Como la sección A y B son iguales geoméricamente y están sometidas a los mismos esfuerzos, se realizarán los cálculos para una de ellas.

Cálculos para la sección A:

Para el cálculo de concentración de esfuerzo debido a la muesca se utilizará la Ec. 4-21 obtenida del apéndice E del Norton pag 1009 entonces se tiene:

$$K_t: 1.58990-0.63550 \log (d_M/D) \quad \text{Ec. 4-21}$$

Donde:

d_M = diámetro de la muela

D = diámetro de la viga

K_t = factor de concentración de esfuerzo

Se debe de calcular un diámetro de la viga “D”, para lo cual se utilizará la ecuación 4-20 la cual se debe de descomponer.

El esfuerzo equivalente debido al momento flector σ_{mf} viene dado por la Ec. 4-22

$$\sigma_{MT} = \frac{M \cdot D}{2 \cdot I} \quad \text{Ec. 4-22}$$

Donde:

M = momento flector

D = diámetro de la viga

I = momento de inercia de la viga.

Simplificando:

$$\sigma_{MT} = \frac{M \cdot 32}{\pi \cdot D^3}$$

El esfuerzo equivalente debido a la fuerza de corte τ_c viene dado por la Ec.4-23.

$$\tau_c = \frac{4}{3} \cdot \frac{VR}{A} \quad \text{Ec. 4-23}$$

Donde:

VR = fuerza cortante.

A = área de la viga.

Sustituyendo σ_{MT} , τ_c y σ_{amd} en la ecuación 4.20 se tiene:

$$124Mpa = \sqrt{\left(\frac{29.45 \cdot 32}{\pi \cdot D^3}\right)^2 + 3 \cdot \left(\frac{16 \cdot 589}{3 \cdot \pi \cdot D^2}\right)^2}$$

$$D = 13.4mm$$

Se aproxima al diámetro común mas cercano superior $D = 25.4mm$ o 1in.

Entonces se supondrá un $d_M = 0.5$ in.

Sustituyendo en la Ec. 4-21

$$K_t = 1,58990 - 0,63550 \text{ Log} \left(\frac{0.5}{1} \right)$$

$$K_t = 1.78$$

Tomando en cuenta el factor de concentración (K_t) se recalcula el factor de seguridad para la sección A

$$\sigma' = K_t \cdot \sigma_{adm} = 1.78 \cdot 124 = 220.72 \text{ MPa}$$

$$N_y = \frac{310}{220.72} = 1.4$$

El factor de seguridad debe ser mayor a la unidad por lo que se concluye que se puede utilizar el diámetro calculado para la viga.

Cálculo de fatiga para flexión fluctuante

Las vigas por la cual se desplaza el conjunto del actuador “B” también están sometidas a esfuerzos de fatiga sin inversión, es decir, la carga es recibida por la viga en un solo sentido variando desde un valor cero hasta un máximo, por lo que se dice que el esfuerzo no tiene inversión de signo. El número de ciclos se puede deducir a partir del tiempo de funcionamiento que se estima que tendrá el sistema de alimentación por año y el número de veces que se repetirá el ciclo de alimentación por hora con lo anterior se deduce la siguiente ecuación:

$$N_{\text{ciclos}} = \frac{\text{veces}}{\text{hora}} \cdot \frac{\text{horas}}{\text{año}} \cdot \text{años} \quad \text{Ec. 4-24}$$

El número de veces por minuto que se debe de activar el actuador “B” es igual al número de golpes que puede dar la prensa por minuto, lo anterior es con la finalidad de que se garantice que se tiene la prensa trabajando en su capacidad nominal y por lo tanto se obtiene el máximo rendimiento de la prensa.

Según los datos de placa de la prensa se sabe que tiene una capacidad de 60golpes/min. Entonces como ya se explicó anteriormente el actuador “B” debe de activarse 60veces/min lo que equivale a 3600veces/hora.

Si la empresa trabaja:

$$7.5 \cdot \frac{\text{horas}}{\text{dias}} \cdot \frac{20\text{dias}}{\text{mes}} \cdot \frac{11\text{meses}}{\text{año}} = 1650 \frac{\text{horas}}{\text{año}}$$

Considerando que el tiempo mínimo de funcionamiento es de 5 años, entonces se puede obtener el número de ciclos sustituyendo en la Ec.4-24.

$$N^{\circ}\text{ciclos} = \frac{3600 \cdot \text{veces}}{h} \cdot \frac{1650\text{horas}}{\text{año}} \cdot 5\text{años}$$

$$N^{\circ}\text{ciclos} = 29700000\text{veces}$$

Una vez obtenido el numero de ciclo se debe de calcular los esfuerzos medios y alternantes basados en las ecuaciones descritas en la “seccion 6.4 del Norton pag. 357”, entonces se tiene que:

$$F_m = \frac{F_{\max} + F_{\min}}{2} \quad \text{Ec. 4-25}$$

$$F_a = \frac{F_{\max} - F_{\min}}{2} \quad \text{Ec. 4-26}$$

Donde:

F_m = fuerza media aplicada por el actuador “B”

F_a = fuerza alternante aplicada por el actuador “B”

F_{\max} = fuerza máxima aplicada por el actuador “B” = 1178N

F_{\min} = fuerza mínima aplicada por el actuador “B” = 0N

Sustituyendo en las Ec. 4-25 y 4-26 los valores de F_{max} y F_{min} se tiene:

$$F_m = 589 \text{ N}$$

$$F_a = 589 \text{ N}$$

En la figura 4.26 se puede observar como varía la fuerza según el tiempo al igual que se puede observar los valores de la fuerza máxima y mínima.

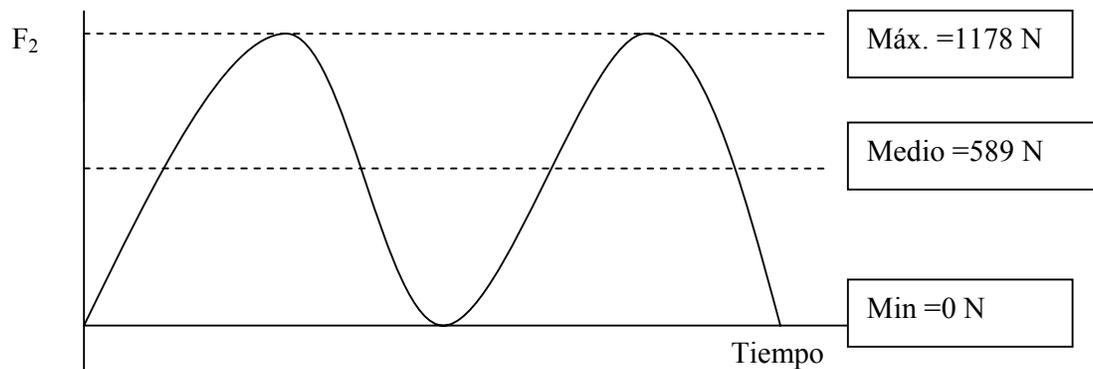


Figura 4.26. Diagrama de variación de la fuerza aplicada

Realizando sumatoria de fuerzas y momentos utilizando F_m , F_a y F_{max} se puede obtener:

$$R_a = \text{reacción alternante} = 294.5 \text{ N}$$

$$R_m = \text{reacción medio} = 294.5 \text{ N}$$

$$R_{max} = \text{reacción máximo} = 589 \text{ N}$$

$$M_a = \text{momento alternante} = 14.73 \text{ Nm}$$

$$M_m = \text{momento medio} = 14.73 \text{ Nm}$$

$$M_{max} = \text{momento máximo} = 29.45 \text{ Nm}$$

Con los valores de las reacciones y momentos obtenidos anteriormente y utilizando el diámetro conseguido para la sección A de la viga (figura 4.24), se deben calcular los esfuerzos correspondientes.

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max} \cdot D}{2 \cdot I} \quad \text{Ec. 4-27}$$

$$\sigma_a = \frac{M_a \cdot D}{2 \cdot I} \quad \text{Ec. 4-28}$$

$$\sigma_m = \frac{M_m \cdot D}{2 \cdot I} \quad \text{Ec. 4-29}$$

$$\tau_{a \text{ transversal}} = \frac{4}{3} \cdot \frac{Ra}{\pi \cdot \frac{D^2}{4}} \quad \text{Ec. 4-30}$$

$$\tau_{M \text{ transversal}} = \frac{4}{3} \cdot \frac{Rm}{\pi \cdot \frac{D^2}{4}} \quad \text{Ec. 4-31}$$

Donde los esfuerzos máximo σ_{\max} , alternante σ_a , medio σ_m , alternante por carga transversal $\tau_{a \text{ transversal}}$ y medio por carga transversal $\tau_{M \text{ transversal}}$ son el efecto causado por la acción de la fuerza máxima, alternante y media correspondientemente. I corresponde al momento de inercia geométrico de la viga el cual debe de calcularse utilizando la Ec. 4-32.

$$I = \frac{\pi \cdot D^4}{64} \quad \text{Ec. 4-32}$$

Donde:

I = momento de inercia geométrico de la viga (m^4)

D = diámetro de la viga = 1 in = 0.0254m

Entonces:

$$I = 2.04 \cdot 10^{-8} \text{ m}^4$$

Sustituyendo en las ecuaciones 4-27, 4-28, 4-29, 4-30 y 4-31 el valor del momento inercia, el diámetro de la viga, las reacciones y los momentos máximo, alternante y medio correspondiente se tiene que:

$$\sigma_{\max} = 18.33 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_a = 9.17 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_m = 9.17 \text{ Mpa}$$

$$\tau_{\text{transversal}} = 0.77 \text{ Mpa}$$

$$\tau_{\text{transversal}} = 0.77 \text{ Mpa}$$

Cálculo del factor de seguridad para la fatiga.

El cálculo del factor de seguridad para fatiga se basará en la ecuación 4-33 obtenida del capítulo 6 del Norton “*Teoría de falla por fatiga*” pag. 415.

$$N_f = \frac{S_e \cdot S_{ut}}{\sigma_a'' \cdot S_{ut} + \sigma_m'' \cdot S_e} \quad \text{Ec.4-33}$$

Donde:

N_f = factor de seguridad para fatiga

S_e = límite de resistencia a la fatiga corregido

S_{ut} = límite de resistencia máximo del material = 570 Mpa

σ_a'' = esfuerzo alternante efectivo según Von Mises

σ_m'' = esfuerzo medio efectivo según Von Mises

Entonces para poder calcular el factor de seguridad para fatiga primero se debe de calcular todas las variables que intervienen en la ecuación.

Límite de resistencia a la fatiga corregido S_e

El límite de resistencia a la fatiga corregido se calcula utilizando la Ec. 4-34 obtenida del Norton sección 6.6 pag. 373.

$$S_e = C_{\text{carga}} \cdot C_{\text{tamaño}} \cdot C_{\text{superficie}} \cdot C_{\text{temperatura}} \cdot C_{\text{confiabilidad}} \cdot S_e \quad \text{Ec.4-34}$$

Donde:

C_{carga} = Factor de carga

$C_{\text{tamaño}}$ = factor de tamaño

$C_{\text{superficie}}$ = factor superficial

$C_{\text{temperatura}}$ = factor de temperatura

$C_{\text{confiabilidad}}$ = factor de confiabilidad

S_e = límite de resistencia a la fatiga

CÁLCULOS

CAPÍTULO IV

Todos estos factores que intervienen en la Ec. 4-34 se utilizan para corregir el límite de resistencia S_e y considerar las diferencias físicas que puedan existir en la pieza real.

Se procede a calcular todos los términos que intervienen en la ecuación 4-34.

Cálculo de S_e :

Basándose en la ecuación 4-35 descrita en la pag. 373 del Norton, la cual es obtenida a partir de datos experimentales y puede aproximarse a predecir el comportamiento del S_e para el acero según el S_{ut} del mismo.

$$S_e = 0.5 \cdot S_{ut} \text{ si } S_{ut} \leq 200\text{Ksi} \quad \text{Ec. 4-35}$$

$$S_e = 285\text{MPa}$$

Factor de tamaño:

Utilizando la ecuación 4-36 detallada en la pag. 376 del Norton.

$$C_{\text{Tamaño}} = 0,869 \cdot D^{-0.097} \quad \text{Ec. 4-36}$$

$$C_{\text{Tamaño}} = 0,87$$

Donde "D" es el diámetro de la viga (1 in).

Factor de Carga:

Basándose en lo descrito en la pag. 376 del Norton “*efectos de la carga*”, se tiene:

$$C_{\text{carga}}=1$$

Factor de Superficie:

Utilizando la ecuación 4-37 definida en la pag. 379 del Norton y sabiendo que la pieza va a ser rectificada.

$$C_{\text{superficie}} = A \cdot (S_{ut})^b \quad \text{Ec.4-37}$$

Donde A y B se obtienen de la tabla 6-3 del Norton pag 378

$$A = 1.58$$

$$B = 0,085$$

$$C_{\text{superficie}} = 0,92$$

Factor de Temperatura:

Basándose en lo descrito en la pag. 380 del Norton “*Temperatura*”, se tiene que:

$$\text{Para } T \leq 450^{\circ} \text{ c}$$

$$C_{temp}=1$$

Factor de Confiabilidad:

Para una confiabilidad de 99%

$$C_{Confiabilidad}=0,814 \text{ obtenido de la tabla 6-4 del Norton pag. 381}$$

Obtenido los valores de todas las variables que intervienen en la Ec. 4-34 se sustituyen en la misma y se calcula el valor de S_e .

$$S_e = 1 \cdot 0,87 \cdot 0,92 \cdot 0,814 \cdot 1 \cdot 285 \text{ Mpa}$$

$$S_e = 185,68 \text{ Mpa}$$

Factor de concentración de esfuerzo por la mueca

$$K_t = 2.08$$

El factor de concentración de esfuerzo K_t para la sección “A” (figura 4.25) de la viga, fue obtenido en los cálculos suponiendo carga estática el mismo debe de ser corregido para los cálculos de fatiga. Para lo antes descrito se utilizara las ecuaciones 4-38 y 4-39 descritas en el Norton capítulo 6 sección 6.7 “*Muecas y concentraciones de esfuerzos*” pag. 389.

$$q = \frac{1}{1 + \frac{\sqrt{a}}{\sqrt{r}}} \quad \text{Ec. 4-38}$$

Donde:

q = sensibilidad a la muesca

\sqrt{a} = constante de Neuber

r = radio de la muesca = 0,25in

De la tabla 6-6 del Norton pag 390

$$\sqrt{a} = 0,070$$

Sustituyendo en la Ec.4.38 se tiene:

$$q = 0,833$$

Con el valor de q obtenido se puede proceder a calcular el factor de concentración de esfuerzo a fatiga K_f para lo cual se utiliza la Ec. 4-39.

$$K_f = 1 + q \cdot (K_t - 1) \quad \text{Ec. 4-39}$$

Sustituyendo los valores antes obtenidos:

$$K_f = 1 + 0,833 \cdot (2,08 - 1)$$

$$K_f = 1,9$$

Una vez obtenido el factor de concentración de esfuerzo deben de recalcularse los esfuerzos medio y alternante para la sección “A” de la viga, ya que como fue mencionado anteriormente esta zona de la viga posee un concentrador de esfuerzos. Se procede a calcular utilizando las siguientes ecuaciones siguientes:

$$\sigma'_a = K_f \cdot \sigma_a \quad \text{Ec. 4-40}$$

$$\sigma'_m = K_f \cdot \sigma_m \quad \text{Ec. 4-41}$$

$$\tau'_{a\text{ transversal}} = K_f \cdot \tau_{a\text{ transv}} \quad \text{Ec. 4-42}$$

$$\tau'_{M\text{ transversal}} = K_f \cdot \tau_{M\text{ transv}} \quad \text{Ec. 4-43}$$

Sustituyendo los valores se tiene:

$$\sigma'_a = 17.4 \text{ Mpa}$$

$$\sigma'_m = 17.4 \text{ Mpa}$$

$$\tau'_{a\text{ transversal}} = 1.5 \text{ Mpa}$$

$$\tau'_{M\text{ transversal}} = 1.5 \text{ Mpa}$$

Los esfuerzos antes calculados se utilizan para calcular los esfuerzos de Von Mises alternante y medio, con las ecuaciones 4-44 y 4-45 descritas en el Norton capítulo 6 sección 6.12 “Diseño para esfuerzos multiaxiales a la fatiga” pag. 430.

$$\sigma''_a = \sqrt{\sigma_{xa}^2 + \sigma_{ya}^2 - \sigma_{xa} \cdot \sigma_{ya} + 3 \cdot \tau_{cxa}^2} \quad \text{Ec.4-44}$$

$$\sigma_m'' = \sqrt{\sigma_{xM}^2 + \sigma_{yM}^2 - \sigma_{xM} \cdot \sigma_{yM} - 3 \cdot \tau_{cxM}^2} \quad \text{Ec.4-45}$$

Donde:

σ_a'' = Esfuerzo alternante efectivo según Von Mises

σ_m'' = Esfuerzo medio efectivo según Von Mises

σ_{xa} = Esfuerzo alternante en el eje X = 17.4 Mpa

σ_{ya} = Esfuerzo alternante en el eje Y = 0 Mpa

σ_{xM} = Esfuerzo medio en el eje X = 17.4 Mpa

σ_{yM} = Esfuerzo medio en el eje Y = 0 Mpa

τ_{cxa} = Esfuerzo cortante alternante en el eje X = 1.5 Mpa

τ_{cxa} = Esfuerzo cortante medio en el eje X = 1.5 Mpa

Sustituyendo los valores en la ecuación correspondiente se obtiene:

$$\sigma_a'' = 17.6 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_m'' = 17.6 \text{ Mpa}$$

Ya obtenidos los valores de las variables de la Ec. 4-33 se sustituye y se consigue el valor del factor de seguridad para fatiga.

$$N_f = 7.9$$

El factor de seguridad es mayor a la unidad por lo que se considera que el sistema es apto para trabajar bajo el tipo de cargas al cual va a estar sometido.

Cálculo de soldadura para las vigas

La estructura que sujeta al actuador B esta constituida por ángulos y tubos estructurales, los cuales se encuentran unidos por medio de cordones de soldadura, estos están sometidos a la fuerza que ejerce el actuador B en el plano XZ y el actuador A en el plano XY. Estas fuerzas se observan en la figura 4.27 (a y b).

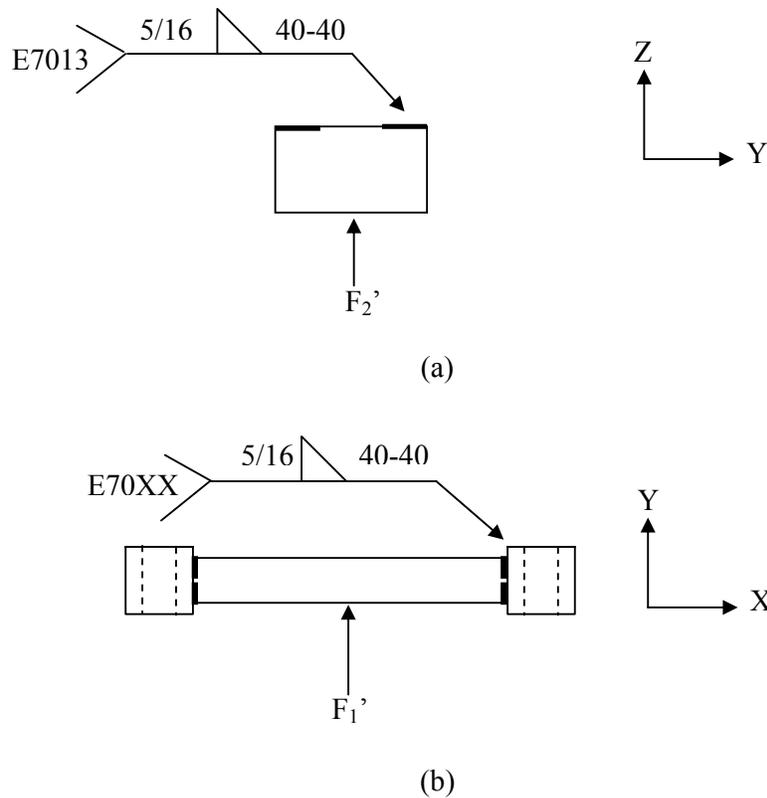


Figura 4.27. (a) Vista frontal del sistema de sujeción primario; (b) Vista de planta del sistema de sujeción primario.

La fuerza F_2' que actúa en el plano XZ, es la fuerza que ejerce el actuador B al material a procesar.

CÁLCULOS

CAPÍTULO IV

F_2' = Fuerza ejercida por el actuador B

$$F_2' = 1178N$$

La fuerza F_1' que actúa en el plano XY, es la fuerza obtenida en la sección anterior para la selección del actuador A, esta tiene una magnitud de:

$$F_1' = 415N$$

Los ángulos son fabricados con acero 1030 cuyo $S_{ut} = 343.35$ MPa y los tubos estructurales circulares son fabricados de ASTM-A-500 cuyo $S_{ut} = 450$ MPa. Con el S_{ut} del material más resistente se selecciona de la tabla 9-4 de la pag 551 del Shirley el material de aporte.

Electrodo E70XX

Los espesores de las partes a soldar se pueden identificar en el anexo A del catálogo de Ferrun para los tubos estructurales y en el catalogo de Suviplac para los ángulos de 40 x 40mm. Identificados cada uno de los espesores de los materiales base se selecciona de la tabla 9-7 de la pag 553 del Shirley el tamaño mínimo de la soldadura.

$$h = \frac{5}{16} in \cong 7.94$$

Resolviendo para el plano YZ.

Con la tabla 9-3 de la pag 549 del Shirley se selecciona las propiedades a flexión de la soldadura a filete.

$$\tau' = \frac{F_2'}{A} \quad \text{Ec 4-46}$$

$$\bar{x} = 0$$

$$\bar{y} = \frac{d}{2}$$

$$d = 40\text{mm}$$

$$\bar{y} = 20\text{mm}$$

En la figura 4.28 se observa el perfil del cordón de soldadura y la posición del centroide.

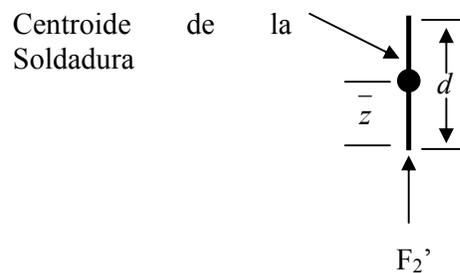


Figura 4.28. Perfil del cordón de soldadura y posición del centroide.

Sustituyendo los valores de h, d en la Ec. 4-47 se obtiene el valor de A subsiguientemente con los valores de F_2' , A y la Ec 4-46 se obtiene el valor del esfuerzo cortante que actúa en el cordón de soldadura.

$$A = 0.707 \cdot h \cdot d \quad \text{Ec. 4-47}$$

$$A = 224.54\text{mm}^2$$

$$\tau' = 5.25\text{MPa}$$

Calculando el esfuerzo cortante τ'' generado por el momento torsor en el cordón de soldadura.

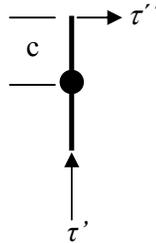


Figura. 4.29. Representación de los esfuerzos cortantes en el cordón de soldadura.

$$\tau'' = \frac{M_t \bullet c}{J} \quad \text{Ec. 4-48}$$

El brazo (l) que existe entre el centroide del cordón de soldadura y la línea de acción de la fuerza es de 45.5mm. Este valor es sustituido en la Ec. 4-49 para obtener el momento torsor presente en la soldadura. El valor de c es la distancia que existe entre el punto más alejado del cordón de soldadura y el centroide de la misma, en este caso el valor es de 20mm.

$$M_t = F_2' \bullet l \quad \text{Ec. 4-49}$$

$$M_t = 53599 \text{ Nmm}$$

Con el perfil de soldadura y la tabla 9-2 de la pag 545 del Shirley se selecciona la expresión que permite calcular el segundo momento polar de inercia del área unitaria.

$$J_u = \frac{d^3}{12} \quad \text{Ec. 4-50}$$

$$J_u = \frac{40^3}{12}$$

$$J_u = 5333.33mm^3$$

Seguidamente se sustituye en la Ec. 4-51 el segundo momento polar de inercia del área unitaria y el ancho del cordón de soldadura para obtener el segundo momento polar de inercia del área.

$$J = 0.707 \cdot h \cdot J_u \quad \text{Ec.4-51}$$

$$J = 29939.07mm^4$$

Sustituyendo M_t , c y J en la Ec. 4-48 se obtiene:

$$\tau'' = \frac{53599Nmm \cdot 20mm}{29939.07mm^4}$$

$$\tau'' = 35.80MPa$$

Con τ' y τ'' se obtiene un τ_{total} con lo cual se calcula un factor de seguridad para determinar si el cordón de soldadura seleccionado soporta los esfuerzos a los que esta sometido.

$$\tau_{total} = \tau' + \tau'' \quad \text{Ec. 4 - 52}$$

$$\tau_{total} = 41.05MPa$$

Con la Ec. 4-53 obtenida de la tabla 9-5 en la pag 551 del Shirley se calcula el esfuerzo permisible de la soldadura.

$$\tau_{perm} = 0.30 \cdot S_{ut} \quad \text{Ec. 4-53}$$

Con el electrodo E70XX y la tabla 9.4 de la pag 551 del Shirley se identifica el valor del esfuerzo último del material de aporte. Este se sustituye en la Ec. 4-53 y se tiene que:

$$\tau_{perm} = 144.6 \text{MPa}$$

Calculando el factor de seguridad:

$$N = \frac{\tau_{perm}}{\tau_{total}} \quad \text{Ec. 4 - 54}$$

$$N = 3.52$$

Con $N= 3.52$ se demuestra que el tipo de soldadura seleccionada resiste los esfuerzos al cual esta sometido en el plano XZ.

Analizando el plano XY.

Con la tabla 9-3 de la pag 549 del Shirley se selecciona las propiedades a flexión de la soldadura a tope.

$$\tau' = \frac{F_1'}{A} \quad \text{Ec. 4-55}$$

$$\bar{x} = \frac{d}{2}$$

$$\bar{y} = 0$$

$$d = 40mm$$

$$\bar{x} = 20mm$$

En la figura 4.30 se observa el perfil de la soldadura y la posición del centroide de la misma.

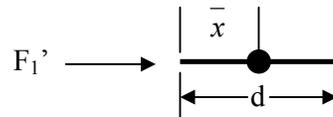


Figura 4.30. Perfil del cordón de soldadura y posición del centroide de la misma

Sustituyendo los valores de h, d en la Ec. 4-56 se obtiene el valor de A subsiguientemente con los valores de F_2' , A y la Ec 4-55 se obtiene el valor del esfuerzo cortante que actúa en el cordón de soldadura.

$$A = 0.707 \cdot h \cdot d \quad \text{Ec. 4-56}$$

$$A = 224.54mm^2$$

$$\tau' = 1.84MPa$$

La soldadura esta sometida a cortante directo por acción de la fuerza F_1' y a cortante por torsión debido al brazo que existe entre el centroide de la soldadura y la línea de acción de la fuerza F_1' . Estos esfuerzos se pueden observar en la figura 4.31.

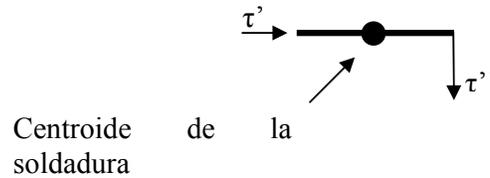


Figura 4.31. Representación de los esfuerzos cortantes en el perfil de soldadura.

$$\tau' = \frac{M_t \cdot c}{J} \quad \text{Ec. 4-57}$$

El brazo (l) que existe entre el centroide del cordón de soldadura y la línea de acción de la fuerza es de 82mm. Este valor es sustituido en la Ec. 4-58 para obtener el momento torsor presente en la soldadura. El valor de c es la distancia que existe entre el punto más alejado del cordón de soldadura y el centroide de la misma, en este caso el valor es de 20mm.

$$M_t = F_l' \cdot l \quad \text{Ec.4-58}$$

$$M_t = 34030 \text{ Nmm}$$

Con el perfil de soldadura y la tabla 9-2 de la pag 545 del Shirley se identifica la expresión que permite calcular el segundo momento polar de inercia del área unitaria.

$$J_u = \frac{d^3}{12} \quad \text{Ec. 4-59}$$

$$J_u = \frac{40^3}{12}$$

$$J_u = 5333.33mm^3$$

Seguidamente se sustituye en la Ec 4-60 el segundo momento polar de inercia del área unitaria y el ancho del cordón de soldadura para obtener el segundo momento polar de inercia del área.

$$J = 0.707 \cdot h \cdot J_u \quad \text{Ec. 4-60}$$

$$J = 29939.07mm^4$$

Sustituyendo M_t , c y J en la Ec. 4-57 se obtiene:

$$\tau'' = \frac{34030Nmm \cdot 20mm}{29939.07mm^4}$$

$$\tau'' = 22.78MPa$$

Con τ' y τ'' se obtiene un τ_{total} con lo cual se calcula un factor de seguridad para determinar si el cordón de soldadura seleccionado soporto los esfuerzos a los cuales esta sometido.

$$\tau_{total} = \tau' + \tau'' \quad \text{Ec. 4 - 61}$$

$$\tau_{total} = 24.57MPa$$

CÁLCULOS

CAPÍTULO IV

Con el tipo de carga (Cortante) a la cual esta sometida la soldadura y el tipo de soldadura (a tope) se selecciona de la tabla 9-5 de la pag 551 del Shirley la ecuación para determinar el esfuerzo permisible (Ec. 4-61), con el cual se calculara un factor de seguridad para verificar que la soldadura resista los esfuerzos a la cual esta sometida en el plano XY.

$$\tau_{perm} = 0.30 \cdot S_{ut} \quad \text{Ec. 4-61}$$

Con el electrodo E70XX y la tabla 9.4 de la pag 551 del Shirley se identifica el valor del esfuerzo último del material de aporte. Este se sustituye en la Ec. 4-61 y se tiene que:

$$\tau_{perm} = 144.6 \text{MPa}$$

Calculando el factor de seguridad:

$$N = \frac{\tau_{perm}}{\tau_{total}} \quad \text{Ec. 4-62}$$

$$N = 5.88$$

Con $N= 5.88$ se demuestra que el tipo de soldadura seleccionada resiste los esfuerzos al cual esta sometida el cordón de soldadura en el plano XY.

Al comparar los factores de seguridad del plano XZ con el del plano XY se determina que el diseño de la soldadura se debe realizar según el plano XZ ya que este es el que esta sometido a un mayor esfuerzo, sin embargo cabe destacar que

el material de aporte y la longitud del cordón que se utilizó para la realización de los cálculos son las mismas para ambos planos.

Calculo para la barra de conexión del actuador “A” y el conjunto del Actuador “B”

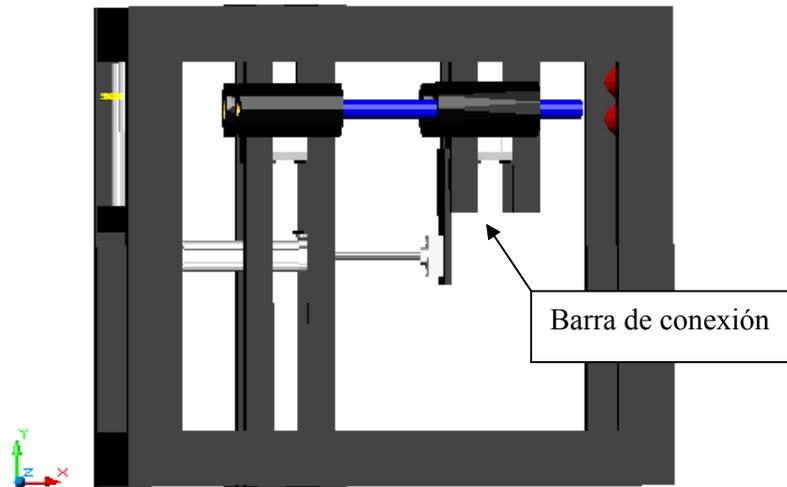


Figura 4.32. Posición de la barra de conexión en el sistema.

La barra que se muestra en la figura 4.32 tiene como función servir de conexión entre el actuador “A” y el conjunto del actuador “B”. De tal manera que cuando el vástago del cilindro neumático “A” se mueve transmite su movimiento al conjunto del actuador “B” a través de ésta barra. El material de la barra es acero AISI 4140 cuyo límite de resistencia a la fluencia $S_y = 1641 \text{ Mpa}$ y la dimensiones de la misma se pueden observar en la figura 4.33.

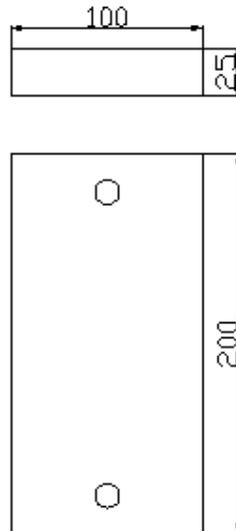


Figura 4.33. Dimensiones de la barra de conexión

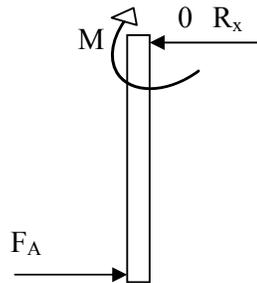


Figura 4.34. Diagrama de cuerpo libre de la barra de conexión

Para determinar el valor de las reacciones se utilizara el diagrama de cuerpo libre de la barra mostrado en la figura 4.34 y se realizara sumatoria de fuerzas en el eje X y sumatoria de momento respecto al punto 0 (Ec. 4-63 y Ec. 4-64 respectivamente).

$$\sum F_x = F_A - R_x = 0 \quad \text{Ec. 4 - 63}$$

$$\sum M_0 = F_A \cdot d - M = 0 \quad \text{Ec. 4 - 64}$$

CÁLCULOS

CAPÍTULO IV

Donde:

F_A = Fuerza aplicada por el actuador "A" = 415 N

R_x = Reacción debida a la aplicación de la fuerza F_A

d = Distancia desde la aplicación de la fuerza F_A al punto 0 = 0.2 m

M = Momento generado como reacción debido a la aplicación de la fuerza F_A

Sustituyendo los valores en las ecuaciones respectivas y despejando, se tiene:

$$R_x = 415 \text{ N}$$

$$M = 83 \text{ N.m}$$

Una vez obtenido el valor de las reacciones se procede a calcular la magnitud de los esfuerzos a los que esta sometido la barra. Para este cálculo se utilizara las ecuaciones 4 - 65 y 4 - 66 de la teoría de las fallas por carga estática.

$$\sigma_M = \frac{M \cdot c}{I_Y} \quad \text{Ec. 4 - 65}$$

$$\tau_{Max} = \frac{3 \cdot R_x}{2 \cdot A_y} \quad \text{Ec. 4 - 66}$$

Donde:

σ_M = Esfuerzo debido al momento M

c = Distancia desde el punto de aplicación de F_A a la fibra intermedia = 0.00125 m

I_Y = Inercia de la barra

τ_{Max} = Esfuerzo cortante máximo debido a la reacción R_x

A_Y = área de la sección transversal de la barra

CÁLCULOS

CAPÍTULO IV

Se debe de calcular el valor de la inercia y el área de la sección transversal de la barra utilizando la Ec. 4 - 67 y Ec. 4 - 68 respectivamente.

$$I_Y = \frac{b^3 \cdot h}{12} \quad \text{Ec. 4 - 67}$$

$$A_Y = h \cdot e \quad \text{Ec. 4 - 68}$$

Donde:

b = Altura de la barra = 0.2 m

h = Ancho de la barra = 0.1 m

e = Espesor de la barra = 0.025 m

Sustituyendo los valores en la Ec. 4 - 67 y en la Ec. 4 - 68 se tiene que:

$$I_Y = 6.67 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$A_Y = 0.025 \text{ m}^2$$

Ya obtenido los valores de la inercia y el área de la sección transversal de la barra, se procede a sustituir los valores correspondientes en las ecuaciones 4 - 65 y 4 - 66 Entonces se tiene que:

$$\sigma_M = 15.55 \text{ Mpa}$$

$$\tau_{Max} = 249 \text{ Mpa}$$

Utilizando la teoría de Von Mises (Ec.8) se calcula el esfuerzo equivalente σ' al cual esta sometido la barra.

$$\sigma' = \sqrt{\sigma_M^2 + 3 \cdot \tau_{Max}^2} \quad \text{Ec. 4 - 69}$$

Sustituyendo se obtiene:

$$\sigma' = 431.56 \text{ Mpa}$$

Se debe de considerar el efecto de concentración de esfuerzos debido a los agujeros por donde pasaran los tornillos para sujetar la barra al vástago del actuador “A” y al conjunto del actuador “B”. Estos agujeros se pueden observar en la figura 4.33. Para obtener el valor del factor de concentración de esfuerzos K_t , se utilizara la grafica E-14 de la pagina 1012 del Norton.

$$K_t = 1.8$$

Recurriendo a la ecuación 10 se calcula el factor de seguridad de la barra.

$$N = \frac{S_y}{K_t \cdot \sigma'} \quad \text{Ec. 4 - 70}$$

Sustituyendo los valores en la Ec. 4 - 70. Se tiene:

$$N = 2.1$$

El factor de seguridad de 2.1 es mayor a la unidad lo que garantiza que la barra puede resistir los esfuerzos a los cuales estará sometida.

4.6.5. Sistema de Sujeción.

El sistema de sujeción está constituido principalmente por el actuador “C” y su funcionamiento esta muy relacionado con la bobina de materia prima. Este actuador se encarga de sujetar la lámina después que es introducida en el troquel, aplicando una fuerza “ F_4 ” que no deforme al material y evite que este deslice entre las mordazas que lo sujetan. En la figura 4.35 se observa el diagrama de cuerpo libre de la materia prima cuando es comprimida por el actuador “C” adicionalmente se puede observar un diagrama de cuerpo libre para el porta-bobina donde “P” es el peso de toda la bobina.

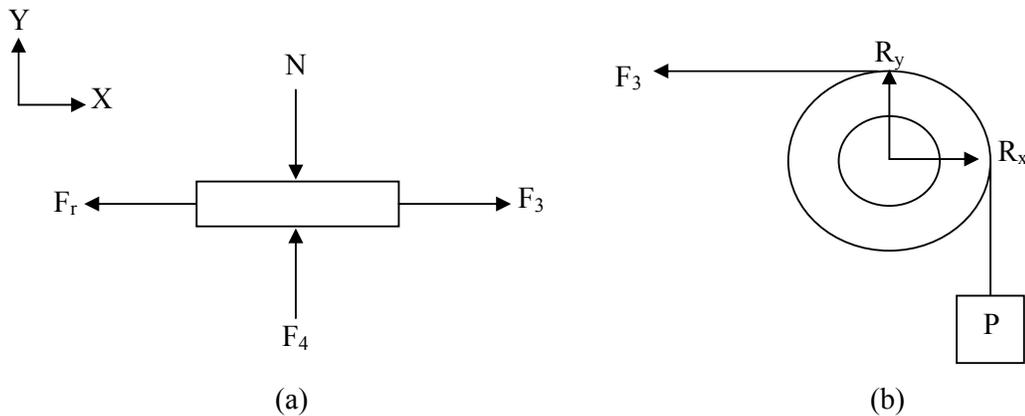


Figura 4.35. (a) D.C.L de la lámina; (b) D.C.L. de la bobina.

Realizando sumatoria de fuerzas en el eje X.

$$\sum F_x = 0 \quad \text{Ec. 4-71}$$

$$F_3 - F_r = 0$$

$$F_3 = F_r$$

Realizando sumatoria de fuerzas en el eje Y

$$\sum F_y = 0 \quad \text{Ec. 4-72}$$

$$F_4 - N = 0$$

$$N = F_4$$

Realizando sumatoria de momento respecto al centro de giro de la bobina se obtiene:

$$\sum M = 0 \quad \text{Ec. 4-73}$$

$$F_3 \cdot r_{ext} - P \cdot r_{ext} = 0$$

$$F_3 = P$$

$$F_3 = m \cdot g$$

Sustituyendo el valor de la masa en la Ec. 4-73 obtenemos el valor de la fuerza F_3 .

$$F_3 = 337.51 \text{Kg} \cdot 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$F_3 = 3310.97 \text{N}$$

Sustituyendo en la Ec. 4-71 el valor de la fuerza F_3 , se obtiene el valor de la fuerza F_r .

$$F_r = 3310.97N$$

Adicionalmente se conoce por física que la fuerza de roce es proporcional a la normal, al despejar esta fuerza de la Ec. 4-74 se obtiene el valor de la normal tomando en cuenta que el coeficiente de roce presente entre el neopreno y el metal es de 0.6.

$$F_r = \mu x N \quad \text{Ec. 4-74}$$

$$N = \frac{F_r}{\mu}$$

Con la fuerza F_r y la Ec. 4-74 se obtiene el valor de la normal.

$$N = 5518.28N$$

Sustituyendo el valor de la normal en la Ec. 4-72 se obtiene la fuerza F_4

$$F_4 = 5518.28N$$

Con la fuerza antes calculada y basándose en las características del medio ambiente de trabajo y teniendo presente que se quieren equipos con poco mantenimiento para aumentar la productividad. Se utiliza el catálogo de la compañía FESTO de cilindros ADVU que está en el anexo B, y de este se selecciona el actuador que se adapté a las características necesitadas.

Características del actuador seleccionado

Código = ADVU-125-25-A-P-A

Fuerza = 7363 N

Diámetro = 125mm

Carrera = 2.5mm

Peso total = 3.47 Kg.

Con el valor de la fuerza F_4 y la fuerza del actuador seleccionado se calcula un factor de seguridad:

$$N_{actuador} = \frac{\text{Fuerza del actuador seleccionado}}{\text{Fuerza teorica}} \quad \text{Ec.4-75}$$

Sustituyendo en la Ec.4-75 se obtiene:

$$N_{actuador} = \frac{7363N}{5518.28N} = 1.3$$

Como el factor de seguridad es mayor que uno, el actuador seleccionado puede cumplir con la función de sujetar el material durante el proceso de troquelado.

4.6.6. Cálculos de Columnas

Se considera el peso de los actuadores A, B, C y el peso de los soportes superiores e inferiores del sistema para obtener un peso de referencia, con esto se genera la Ec.4-76. En la figura 4.36 se observan las columnas del sistema de alimentación.]

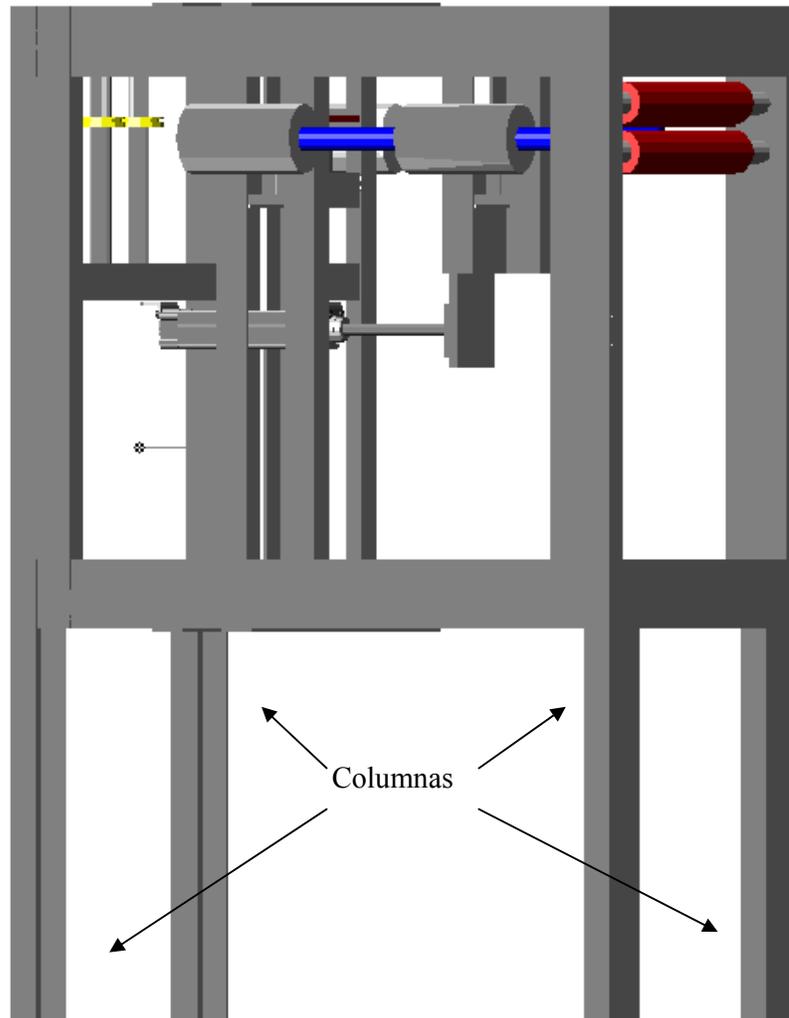


Figura 4.36. Columnas del Sistema de Alimentación

$$P_r = P_A + P_B - P_C + P_{sop.sup} + P_{sop.inf} \quad \text{Ec.4-76}$$

CÁLCULOS

CAPÍTULO IV

$$P_A = 2.6Kg$$

$$P_B = 2.19Kg$$

$$P_C = 3.47Kg$$

$$P_{sop.sup} = 30.4Kg$$

$$P_{sop.inf} = 30.4Kg$$

$$P_r = 2.6Kg + 2.19Kg + 3.47Kg + 30.4Kg + 30.4Kg$$

$$P_r = 69.06Kg$$

P_A = Peso del actuador A

P_B = Peso del actuador B

P_C = Peso del actuador C

$P_{sop.sup}$ = Peso del soporte superior

$P_{sop.inf}$ = Peso del soporte inferior

P_r = Peso Resultante

Para la realización del estudio de columna, es necesario conocer que tipo de columna es la que posee el sistema, debido a que las columnas se clasifican en cortas, medias y largas, cada una de ellas tiene su método de análisis. La identificación se logra calculando la razón de esbeltez de la columna del sistema y comparándola con la razón de esbeltez teórica. En la figura 4.37 se observan las diferentes líneas de fallas de columna, estas curvas tienen asociado ecuaciones que se utilizan para determinar los valores de la carga crítica que puede soportar una columna.

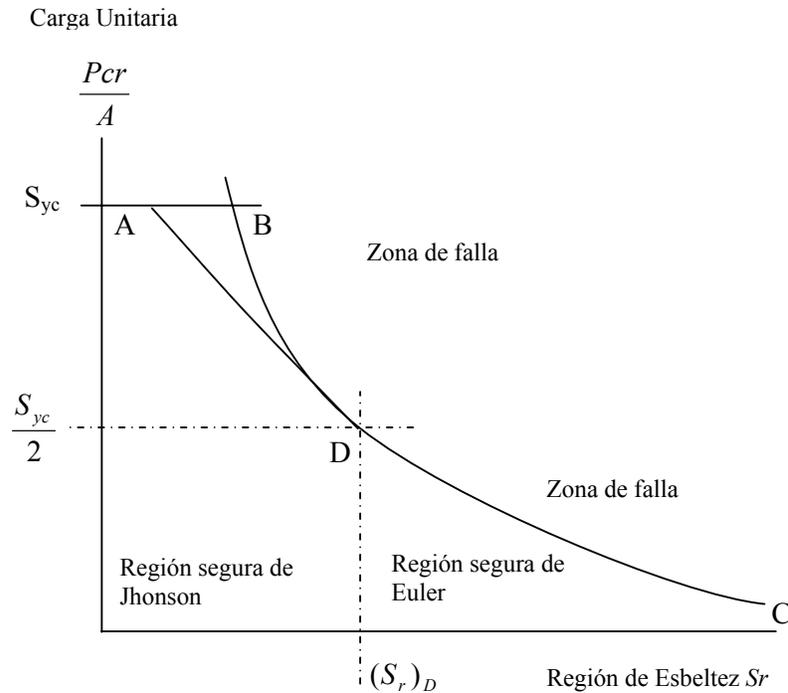


Figura 4.37. Líneas de fallas de columnas Euler, Johnson y columnas cortas. Fuente (“5” Norton Robert).

Si $S_r < 10$ La columna es corta.

Si $10 < S_r < (S_r)_D$ La columna es intermedia.

Si $S_r > (S_r)_D$ La columna es larga

Donde:

S_r = Razón de esbeltez teórica

$(S_r)_D$ = Razón de esbeltez en el punto D de la grafica de las líneas de fallas.

Estas razones de esbeltez se pueden obtener utilizando las siguientes expresiones:

$$S_r = \frac{l_{eff}}{k} \quad \text{Ec.4-77}$$

$$k = \sqrt{\frac{I}{A}} \quad \text{Ec.4-78}$$

$$(S_r)_D = \pi \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot E}{S_y}}$$

Donde:

l_{eff} = Es la longitud equivalente que tendría la columna si sus condiciones terminales fueran articulada-articulada.

k = Radio de giro.

I = Menor momento de inercia de la sección transversal de la viga.

A = Área de la sección transversal de la viga.

E = Modulo de Young del material.

S_y = Esfuerzo de fluencia del material.

Los valores del momento de inercia y del área se extraen del anexo A del catálogo de FERRUM para una viga UPL80. Sustituyendo estos valores en la Ec. 4-78 se obtiene:

$$k = 3.09$$

Para la longitud efectiva se considera que las columnas poseen condiciones terminales empotrada-empotradas lo cual permite utilizar la siguiente expresión para obtener la longitud efectiva.

$$l_{eff} = 0.5 \cdot l \quad \text{Ec. 4-79}$$

Donde:

l = Es la longitud de la viga y tiene un valor de 50cm.

Sustituyendo en la Ec.4-79 se obtiene la longitud efectiva

$$l_{eff} = 25cm$$

Sustituyendo en la Ec. 4-77 el valor de k y la longitud efectiva se obtiene:

$$S_r = 8.09$$

Al realizar la comparación entre las razones de esbeltez calculadas anteriormente se determina que el tipo de columna que posee el sistema es una columna corta. Esto permite estimar la resistencia de la viga calculando el esfuerzo a compresión al que esta sometida utilizando la Ec.4-80 y compararlo con el esfuerzo de fluencia a compresión del material.

$$\sigma_c = \frac{P}{A} \quad \text{Ec.4-80}$$

Sustituyendo los valores en la Ec.4-80 se obtiene:

$$\sigma_c = 0.87MPa$$

Calculando un factor de seguridad:

$$N = \frac{S_{yc}}{\sigma_c} \quad \text{Ec.4-82}$$

Sustituyendo el esfuerzo de fluencia a compresión y el esfuerzo a compresión al que esta sometida la columna en la Ec.4-82 se obtiene:

$$N=402.2$$

Como se observa el factor de seguridad es alto lo que nos garantiza que las columnas pueden soportar la carga de todo el sistema, se podría seleccionar un perfil estructural mas económico que el UPL 80 para la fabricación de estas columnas pero considerando que el sistema poseen un soporte superior e inferior que llevan estas viga y que los perfiles estructurales se comercializan en longitudes de 12 m, se selecciono este perfil para optimizar la utilización del material.

4.7. SELECCIÓN DE LOS RUEDAS AUTO-CENTRANTES

Estos elementos mecánicos tienen la función de mantener alineado el material para que este pueda entrar en las guías del troquel y se realice el proceso de troquelado. Para la selección de estos elementos se puede considerar las fuerzas a las cuales esta sometido y el catalogo del fabricante Hepco que está en el anexo A.

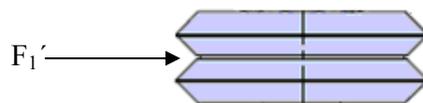


Figura 4.38. Ruedas auto-centrantes

Las ruedas auto-centrantes están sometida a la acción de la fuerza F_1' la cual afecta a las misma de forma radial, con la fuerza F_1' y el catalogo del fabricante se realiza la selección del elemento mecánico. En la figura 4.38 se observa

Las características del elemento seleccionado son:

Fuerza radial = 650N

Fuerza axial = 123N

4.8. SELECCIÓN DE LOS RODILLOS GUÍAS

Para la selección de estos rodillos se utiliza el catálogo de la compañía ROLLERS CONVEYORS, S.A que se encuentra en el anexo A. Fabrica de Rodillos y Transportadores. Como ya se explico anteriormente la función de estos rodillos es mantener la lámina guiada dentro del sistema de alimentación y evitar que la misma entre con ondulaciones no deseadas. Los rodillos de transporte están diseñados para soportar cargas radiales, en este caso se seleccionan los rodillos en base a las dimensiones deseadas ya que las cargas radiales no son significativas.

Se utilizaran rodillos RCL, los cuales se caracterizan por poseer una baja inercia, lo que facilita el movimiento de éstos. Además los rodillos RCL están fabricados en acero ASTM A-569 decapado y pulido lo que disminuye su coeficiente de fricción. Las características antes mencionadas son idóneas y necesarias para optimizar el funcionamiento del sistema de alimentación disminuyendo las perdidas de carga debido a la fricción que pudiera generar estos rodillos.

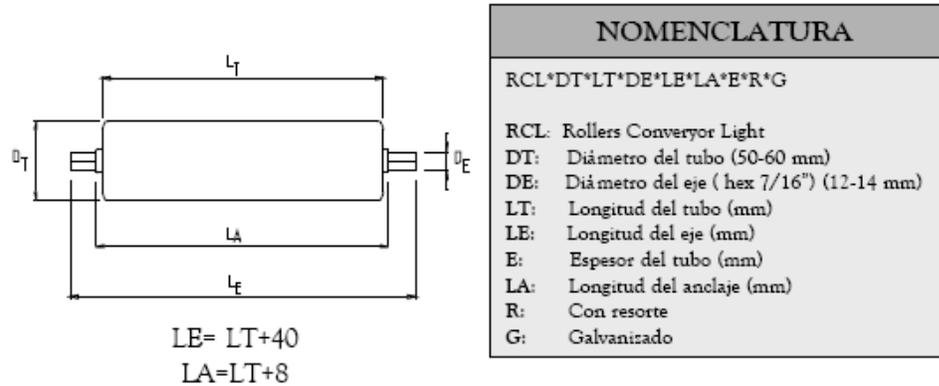


Figura 4.39. Rodillos guías

Se seleccionan rodillos con las siguientes características:

$$L_T = 460\text{mm.}$$

$$L_E = 500\text{mm.}$$

$$D_T = 50\text{mm}$$

$$D_E = 14\text{mm}$$

En la grafica que ofrece el catalogo del fabricante se puede observar la capacidad de carga de estos rodillos la cual es de aproximadamente 140kg el cual se encuentra entre los valores mas altos que brindan éstos rodillos.

4.9. AUTOMATIZACIÓN DEL SISTEMA.

El diseño del sistema de automatización se sub-dividirá en cinco partes:

1. Selección de la tecnología a utilizar.
2. Esquema representativo del sistema de automatización.
3. Selección de los componentes del sistema.
4. Elaboración del esquema de electroneumática.
5. Diagrama de escalera.

4.9.1. Selección de la tecnología a utilizar

Para seleccionar la tecnología de automatización que se utilizara para dar solución al problema de automatización presentado se consideraron las siguientes posibilidades:

- Neumática.
- Electro neumático (lógica cableada).
- Control lógico programable.

La neumática pura, no era posible de utilizarla para el tipo de problema que se tiene ya que por la complejidad que tendría sistema no resultaría funcional.

La Electro-neumática o lógica cableada representaba una buena opción para darle solución al problema de automatización, pero en comparación con las ventajas que ofrece utilizar un Control Lógico Programable se eligió esta última opción.

CÁLCULOS**CAPÍTULO IV**

Utilizar un PLC requiere una mayor inversión inicial, que en este caso sería recuperable rápidamente debido a la productividad del sistema, esta sería la desventaja principal respecto a un sistema con lógica cableada. Pero la utilización de un PLC nos brinda las siguientes ventajas:

- *Flexibilidad:* Posibilidad de reemplazar la lógica cableada de un tablero o de un circuito impreso de un sistema electrónico, mediante un programa que es leído y ejecutado en un PLC.
- *Tiempo:* Ahorro de tiempo de trabajo en las conexiones a realizar, en la puesta en marcha y en el ajuste del sistema.
- *Cambios:* Facilidad para realizar cambios durante la operación del sistema.
- *Confiabilidad:* Reduce las posibilidades de falla lo que se transforma en mayor tiempo productivo.
- *Espacio:* Es una unidad compacta que requiere poco espacio en comparación con el espacio que ocuparía la gran cantidad de componentes que se requiere en la Lógica Cableada.
- *Modularidad:* Gracias a la utilización de Microprocesadores, es posible expandir los sistemas a través de módulos de expansión de acuerdo al crecimiento del sistema. Es posible expandirse en Entradas y Salidas digitales, análogas, etc., como así también en unidades remotas y de comunicación.

-
- *Tiempo de puesta a punto:* al reducir la complejidad del sistema se reduce el tiempo de puesta a punto que es fundamental para la producción de la empresa.
 - *Economía de mantenimiento:* requiere poco mantenimiento, elimina contactos móviles y los mismos autómatas pueden detectar e indicar averías.
 - *Posibilidad de gobernar varias máquinas con un mismo autómata.*

4.9.2. Esquema representativo del sistema de automatización.

Se desea diseñar un sistema de alimentación para una prensa troqueladora como se muestra en la figura 4.40.

El sistema diseñado tiene el siguiente funcionamiento: una vez que el operador ha posicionado correctamente el material a trabajar (la bobina de materia prima) en el porta-bobina, introduce o hace pasar cuidadosamente una parte del mismo en el sistema de alimentación y deja el extremo de la lamina en el inicio del troquel que contiene la prensa, luego comienza con el ajuste y puesta a punto del sistema de alimentación y del troquel.

CÁLCULOS

CAPÍTULO IV

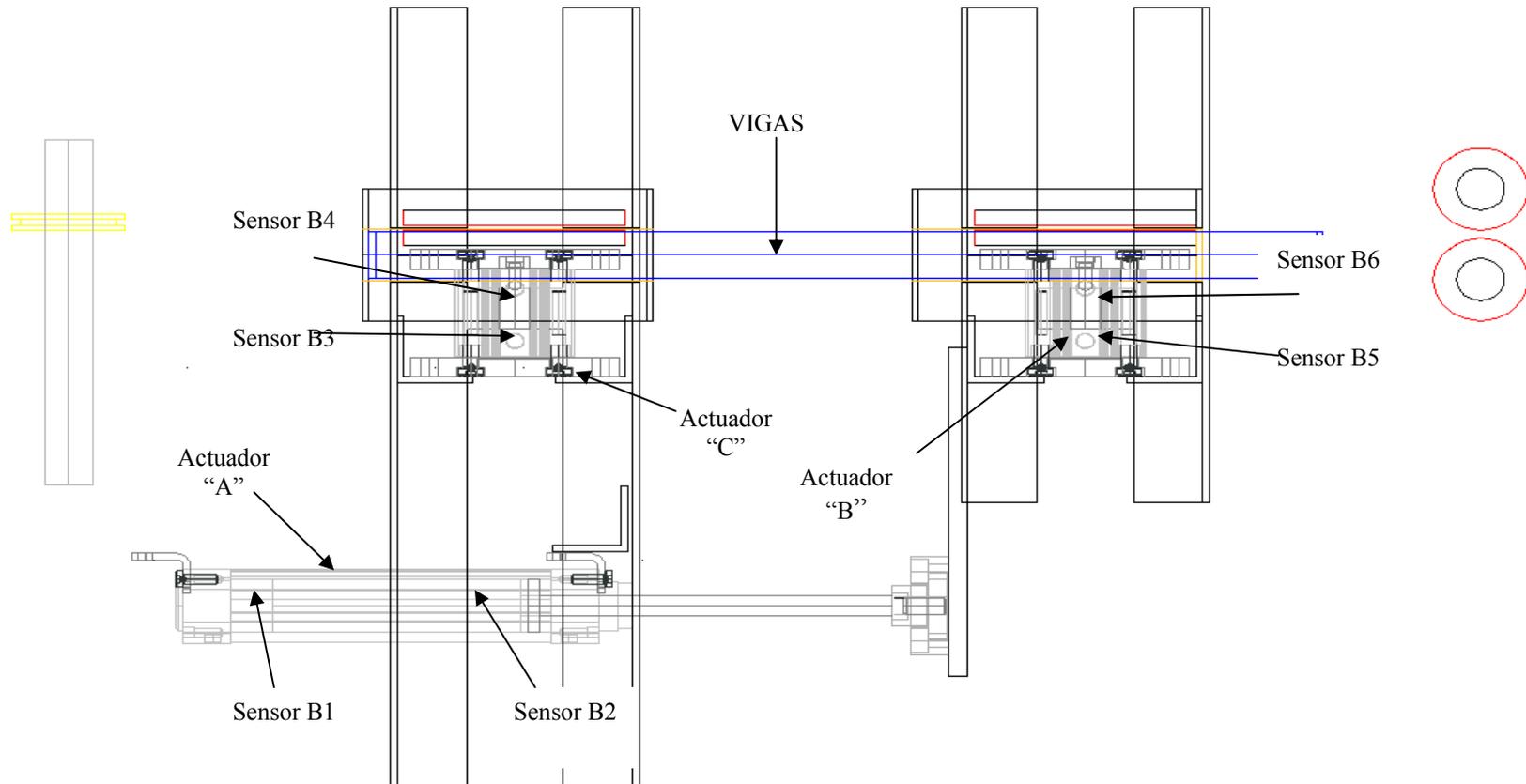


Figura 4.40. Esquema representativo del sistema de automatización

Una vez que el operador activa el sistema de alimentación el mismo sigue una secuencia de pasos para llevar a cabo su objetivo que es alimentar correctamente la prensa con la lámina de material, la secuencia es la siguiente:

- Se presiona un pulsador que manda una señal que activa al actuador “B” para que comience el ciclo, entonces este actuador extiende su vástago presionando entre las mordazas (planchas metálicas con una superficie de goma) la lámina generando así la presión suficiente como para sujetarla, al vástago del actuador “B”, al colocarse en esa posición activa al sensor B4 el cual envía una señal que debe de combinarse simultáneamente con la señal del final de carrera mecánico para activar al actuador “A”.
- Después de activado el sistema de alimentación el operador enciende la prensa para que se inicie el proceso de troquelado. La prensa se sincroniza con el sistema de alimentación a través del final de carrera mecánico que se activa con el movimiento del carro de la prensa y le indica al sistema de alimentación cuando puede introducir el material al troquel.
- La señal del final de carrera mecánico se logra cuando el mismo es accionado por el movimiento de la prensa, específicamente cuando el carro de la prensa se encuentra en su posición mas alta, éste presiona el final de carrera mecánico activándolo, como ya se mencionó esta señal simultáneamente con la de B4 activan al actuador “A” el cual retrae su vástago que originalmente debe de encontrarse extendido.

- El actuador “A” se encuentra conectado mediante una placa metálica con el conjunto donde se encuentra el actuador “B” al retraer su vástago hace que este conjunto deslice a través de unas vigas o ejes destinados para tal fin, con esto logran movilizar la lámina que se encuentra presionada por el actuador “B” y es introducida al troquel.
- Una vez que el actuador “A” ha retraído su vástago el sensor B1 es activado emitiendo una señal que conlleva a que el actuador “C” sea activado, éste extiende su vástago y presiona la lámina entre las placas metálicas, con la finalidad de evitar que la lámina se movilice al momento de que la presa baje su carro y sea troquelada la pieza. Cuando el vástago del cilindro “C” se encuentra extendido activa el sensor B6, esta señal le indica al actuador “B” que puede retraer su vástago, cuando esto ocurre se activa el sensor B3, la señal de este le indica al actuador “A” que puede extender su vástago movilizándolo al conjunto donde se encuentra el actuador “B” hasta la posición inicial.
- Cuando el vástago del actuador “A” se ha extendido activa el sensor B2 la señal de este sensor es transmitida y le indica al actuador “B” que puede extender su vástago presionando la lámina como se explicó anteriormente, el sensor B4 es activado, la señal de éste es procesada y se le indica al actuador “C” que puede retraer su vástago, activando así el sensor B5; posteriormente la señal de este sensor le indica al actuador “A” que puede retraerse comenzando nuevamente el ciclo de trabajo ya descrito.

Se debe destacar, que todas las señales de los distintos sensores son enviadas a un control lógico programable que analiza estas señales las procesa y da una respuesta o señal que se transforma en alguna acción del sistema (como puede ser la extensión del vástago de un actuador). Además el sistema posee un pulsador de emergencia que al ser activado permite detener totalmente el movimiento del sistema de alimentación en caso de que se requiera.

4.9.3. Selección de los componentes del sistema.

Actuador A

Marca: FESTO

Código = 532318

Tipo: DFM-32-125-B-P-A-KF-EJ

Diámetro del embolo= 32mm

Fuerza = 415

Carrera = 125mm

Peso total = 3665.8 g

Para el actuador “A” se utilizó el catalogo de la compañía FESTO, específicamente el catalogo de Cilindros guiados DFM/DFM-B que está en el anexo B. Este tipo de cilindros son idóneos para la aplicación requerida debido a las múltiples ventajas que el mismo tiene sobre otros actuadores. La ventaja principal de estos cilindros es que para el tipo de sistema diseñado se requiere de una regulación de la carrera del actuador que permita trabajar con distintos recorridos, los cilindros DFM poseen un tope mecánico que permite realizar lo antes descrito. La carrera del actuador puede ser regulada con vástago extendido o con vástago retraído al igual que la amortiguación, además de que este tipo de actuadores por su sistema guiado con rodamientos de bola, esta diseñado para

CÁLCULOS**CAPÍTULO IV**

trabajar con alta repetibilidad lo que es necesario para altos volúmenes de producción.

Válvulas 5/2 vías biestable

Marca: FESTO

N° Artículo: 161914

Tipo: JMN2DH-5/2-D-02-110AC

La válvula 5/2 vías para el accionamiento del actuador fue seleccionada en base a las recomendaciones del fabricante, esta válvula es compatible con el actuador “A” ya seleccionado y tiene cualidades como alta velocidad de repuesta, poco mantenimiento y es ideal para trabajar con altos ciclos de accionamiento. La válvula es 5/2 ya que será utilizada en un actuador de doble efecto y se selecciona biestable porque se puede necesitar que el actuador comience su ciclo de trabajo bien sea con vástago extendido o retraído.

Sensores Magnéticos

Marca: FESTO

N° Artículo: 543862

Tipo: SME-8-M-DS-24V-K

Los sensores para el actuador “A” se seleccionan de tipo magnético debido a que el actuador viene dotado de un anillo magnético que se moviliza con el vástago del mismo y es detectable por estos sensores. El fabricante recomienda estos detectores de posición para el trabajo con este tipo de actuadores y pueden ser seleccionados en el mismo catálogo del cilindro neumático.

Válvula de escape rápido con silenciador

Marca: FESTO

Nº Artículo: 4616

Tipo: SEU-1/8

La válvula de escape rápido tiene la finalidad de aumentar la velocidad de repuesta del actuador. La misma fue seleccionada en base a la compatibilidad con el tipo de conexión del actuador y de la válvula 5/2 que se utilizará, la válvula de escape rápido posee silenciador para disminuir los niveles de ruido del sistema.

Actuador B

Marca: FESTO

Código = 188295

Tipo: ADVC-50-25-A-P-A

Diámetro del embolo= 50mm

Fuerza = 1178N

Carrera = 25mm

Peso total = 735 g

Del catálogo de Cilindros de carrera corta ADVC/AEVC de la compañía FESTO que se encuentra en el anexo B se seleccionó el actuador “B”. Para las características que se necesitan en el sistema este tipo de cilindros neumáticos es el indicado son robustos, de gran durabilidad, alta velocidad de respuesta, bajo peso, poco tamaño, con la capacidad de poder instalársele detectores de posición y recomendados para grandes volúmenes de producción.

CÁLCULOS**CAPÍTULO IV**

Válvulas 5/2 vías biestable

Marca: FESTO

Nº Artículo: 161914

Tipo: JMN2DH-5/2-D-02-110AC

La válvula 5/2 vías para el accionamiento del actuador “B” fue seleccionada en base a las recomendaciones del fabricante, como se puede observar es de el mismo tipo que la seleccionada para el actuador “A” esto debido a que al igual que en el caso anterior las características de esta válvula son las ideales y necesarias para el sistema.

Sensores Magnéticos

Marca: FESTO

Nº Artículo: 543867

Tipo: SMT-8M-PS-24V-K-2,5-OE

Debido a las dimensiones del cilindro neumático (actuador “B”) los sensores recomendados por el fabricante son pocos y únicamente de tipo magnético. Debido a las características del ambiente de trabajo, tipo de salida del sensor y el tipo de contacto del mismo se optó por ese modelo de sensor magnético.

Válvula de escape rápido con silenciador

Marca: FESTO

Nº Artículo: 4616

Tipo: SEU-1/8

CÁLCULOS**CAPÍTULO IV**

La válvula de escape rápido se seleccionó tomando en cuenta las mismas características que se tuvieron presente cuando se seleccionó la válvula de escape rápido a utilizar con el actuador “A”.

Como se demostró anteriormente con cálculos el sistema requiere que el actuador “C” posea gran fuerza, altas velocidades de repuesta y dimensiones compactas para montajes en espacios reducidos, tomando en cuenta todas las características antes mencionadas y teniendo presente las recomendaciones del fabricante, se seleccionó del catalogo de cilindros ADVU de la empresa FESTO el siguiente actuador:

Actuador C

Marca: FESTO

N° Artículo: 175765

Tipo: ADVU-125-25-A-P-A

La válvula 5/2 vías para el accionamiento del actuador “C” fue seleccionada en base a las recomendaciones del fabricante, como se puede observar es de el mismo tipo que la seleccionada para el actuador “A” y para el actuador “B”, esto debido a que al igual que en el caso anterior las características de esta válvula son las ideales y necesarias para el sistema.

Válvulas 5/2 vías biestable

Marca: FESTO

N° Artículo: 161914

Tipo: JMN2DH-5/2-D-02-110AC

CÁLCULOS**CAPÍTULO IV**

Al igual que para el caso del actuador “B” por las dimensiones del cilindro neumático (actuador “C”) los sensores recomendados por el fabricante son pocos y únicamente de tipo magnético. Tomando en cuenta las características del ambiente de trabajo, tipo de salida del sensor y el tipo de contacto del mismo se selecciono el siguiente modelo de sensor magnético.

Sensores Magnéticos

Marca: FESTO

N° Artículo: 543867

Tipo: SMT-8M-PS-24V-K

La válvula de escape rápido se seleccionó tomando en cuenta las mismas características que en los casos anteriores.

Válvula de escape rápido con silenciador

Marca: FESTO

N° Artículo: 6753

Tipo: SEU-1/4

El sistema requiere de una válvula 3/2 vías neumática de accionamiento mecánico tipo rodillo que permita tener una señal directa de la prensa, específicamente de la posición del carro de la prensa, la misma será activada con el movimiento de la máquina, por lo que esta válvula tiene que ser de gran durabilidad, respuesta rápida, poco mantenimiento y sea ideal para trabajar con producción en serie. Con todo lo antes descrito y con ayuda del fabricante se selecciona la siguiente válvula:

Válvula 3/2 vías con accionamiento mecánico.

Marca: FESTO

Nº Artículo: 10748

Tipo: R/O -3-PK-3

El control lógico programable (PLC) se seleccionó de tal manera que cumplirá con el número mínimo de salidas y entradas requeridas para el sistema, que tuviera altas velocidades de respuesta y además se considero que pudiera ser montado en espacios reducidos. Es importante destacar que el PLC seleccionado posee más entradas y salidas de lo requerido, ésta con la finalidad de poder utilizar esta misma unidad de control en otros posibles sistemas de alimentación a instalar en otras prensas de la empresa. El catálogo de donde se selecciono el control lógico programable se está en el anexo B.

Control lógico programable

Marca: FESTO

Nº Artículo: 1911449

Tipo: FEC FC600-FST FEC 32E/16S

Elaboración del Esquema de Electroneumática

4.9.4. Diagrama de conexiones Neumáticas

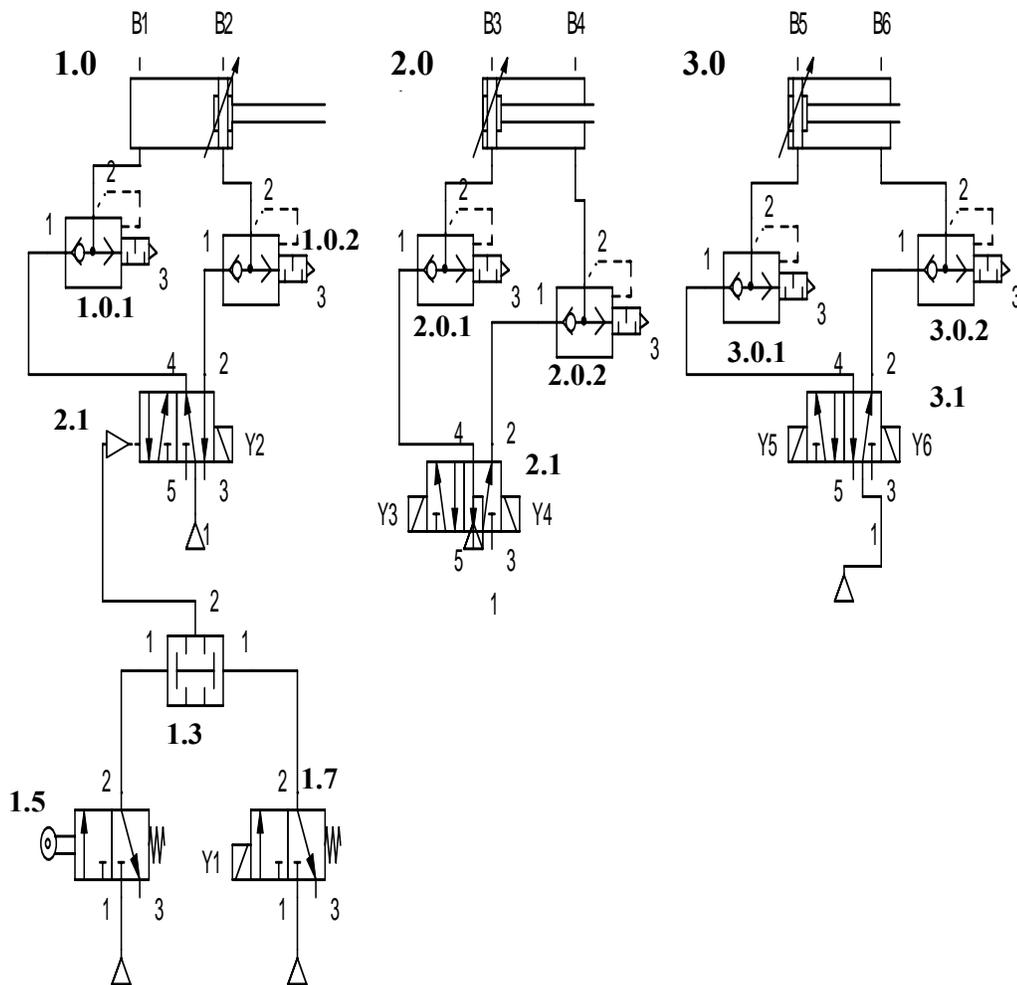


Figura 4.41. Diagrama de conexiones Neumáticas

CÁLCULOS

CAPÍTULO IV

4.9.5. Diagrama de conexiones al PLC.

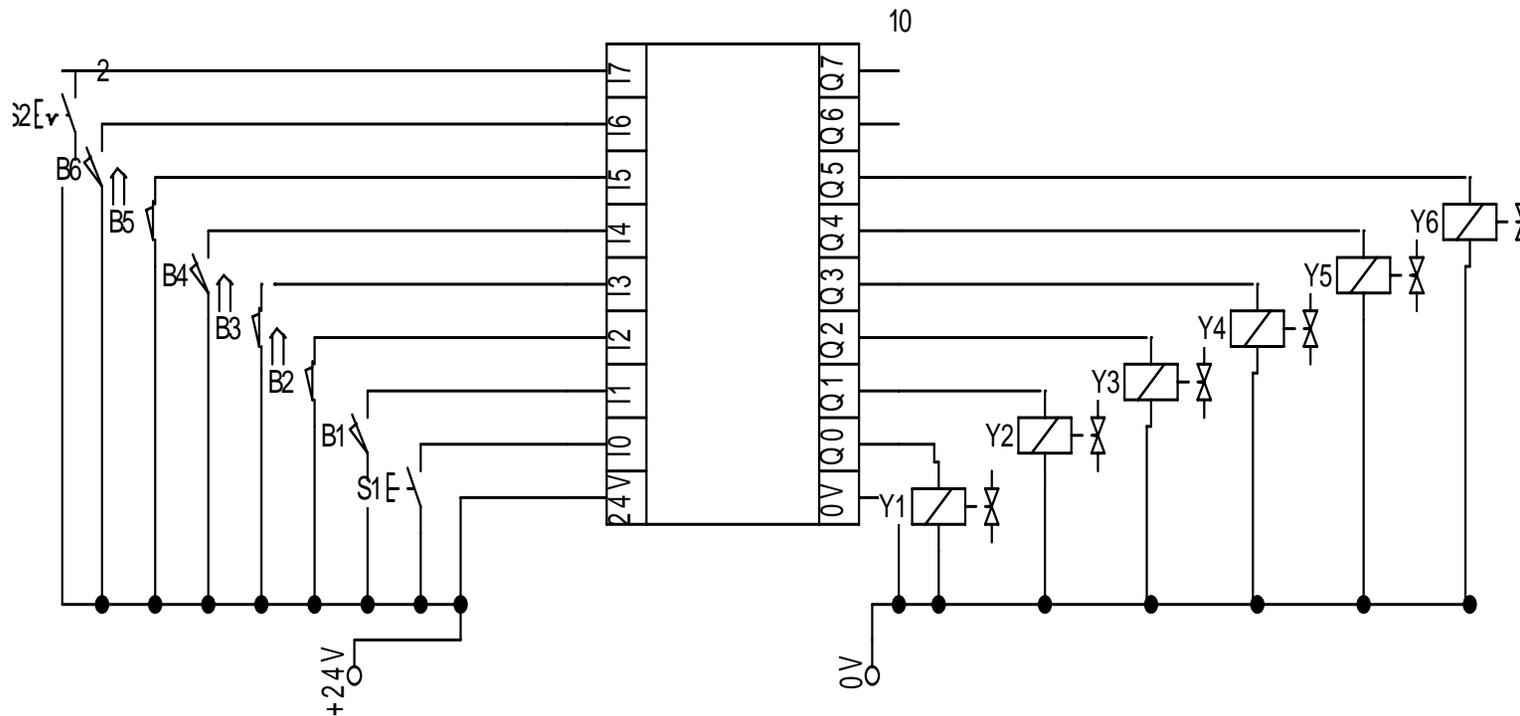


Figura 4.42. Diagrama de conexiones al PLC.

4.9.6. Direccionamiento.

En esta sección se presentan el direccionamiento de entrada y salida que sigue el control lógico programable.

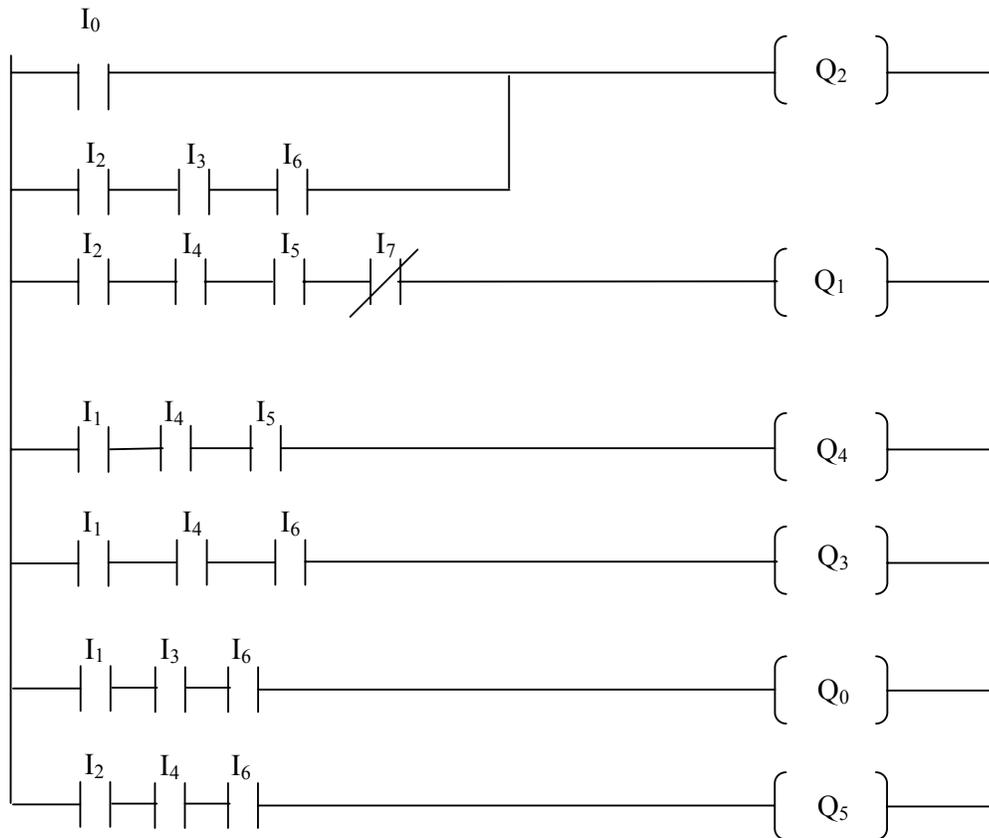
Tabla. 4.10. Direccionamiento de entrada.

Descripción	Dirección	Símbolo	Función
Interruptor de arranque	I.0	S1	Iniciar el sistema
Sensor Magnético	I.1	B1	Detectar cuando A esta extendido
Sensor Magnético	I.2	B2	Detectar cuando A esta retraído
Sensor Magnético	I.3	B3	Detectar cuando B esta retraído
Sensor Magnético	I.4	B4	Detectar cuando B esta extendido
Sensor Magnético	I.5	B5	Detectar cuando C esta retraído
Sensor Magnético	I.6	B6	Detectar cuando C esta extendido
Interruptor de emergencia	I.7	S2	Retraer los actuadores A, B y C.

Tabla. 4.11. Direccionamiento de salida.

Descripción	Dirección	Símbolo	Función
Electrovalvula 3/2 vías	Q.0	Y1	Extender el actuador A
Electrovalvula 5/2 vías	Q.1	Y2	Retraer el actuador A
Electrovalvula 5/2 vías	Q.2	Y3	Extender el actuador B
Electrovalvula 5/2 vías	Q.3	Y4	Retraer el actuador B
Electrovalvula 5/2 vías	Q.4	Y5	Extender el actuador C
Electrovalvula 5/2 vías	Q.5	Y6	Retraer el actuador C

4.9.7. Diagrama en Escalera



JUSTIFICACIÓN ECONOMICA

CAPÍTULO V

Para la realización del estudio económico se seguirán los siguientes pasos:

- Los flujos monetarios.
- Factibilidad económica o rentabilidad.
- Tomar la decisión de invertir.

Para tener una mejor comprensión del proyecto y de sus flujos monetarios estos se representaran en una escala de tiempo. Como los productos que se están automatizando, la empresa lo entrega al cliente mensualmente, la escala de tiempo se fijara en doce meses.

5.1 Flujos Monetarios

5.1.1. La Inversión Inicial:

Es el conjunto de desembolsos necesarios para la adquisición y adecuación de las facilidades de producción y ello incluye los activos fijos y activos circulantes que se requieren para que el proyecto inicie sus operaciones normalmente.

La inversión inicial esta constituida por:

- Capital Fijo
- Capital de Trabajo

JUSTIFICACIÓN ECONOMICA**CAPÍTULO V**

5.1.2 Capital Fijo:

Comprende la porción de la inversión inicial destinada a la compra de activos fijos tangibles y a la compensación de los activos fijos intangibles. En el anexo A se encuentra una cotización de la compañía FESTO en donde aparecen los precios de cada uno de los elementos de control.

Para este proyecto los activos fijos a considerar son:

- Adquisición de Equipos = BFs 15948.54
- Instalación de maquinaria y equipos = BFs 638.79
- Entrenamiento de personal = BFs 503.79
- Costos de arranque y pruebas = BFs 2087.93
- Imprevistos = BFs 5000

5.1.3 Capital de Trabajo:

Es la cantidad de dinero necesaria para cubrir los requerimientos mínimos de activos circulantes.

Para este proyecto el capital de trabajo a considerar es:

- Inventario por materia prima.

La empresa recibirá mensualmente una bobina de 1.4 mm de espesor por 1200 mm de ancho, esta tiene una masa aproximada de 18947Kg, el precio de la bobina es de 2.77 BFs/Kg aproximadamente. Para la fabricación del soporte común a la bobina se le realizara a lo ancho cortes de 76 mm con lo que se generan 42 bobinas, cada una de estas nuevas bobinas tienen una masa de 400Kg de las cuales se pueden obtener 6144 piezas.

JUSTIFICACIÓN ECONOMICA

CAPÍTULO V

Para determinar el número de kilos que se requieren para fabricar las 200000 piezas del soporte común se realiza una regla de tres, con lo que se obtiene que la empresa necesitara de 13020.83Kg, esto tiene un costo de BF's 36067.69

Con la ayuda del diagrama de corte que se encuentra en el anexo A del cliente Gabriel podemos leer la cantidad de piezas que se obtienen de una lámina de 2400 • 1200 • 1.4 para la fabricación del soporte común, adicionalmente se conoce que la densidad del acero es de 8.05Kg/m³ aproximadamente. Con esta información se plantea la ecuación de la densidad, donde se despeja la masa de una lámina.

$$\rho = \frac{m}{V} \quad \text{Ec. 5.1}$$

$$m = 32.45Kg$$

Para obtener la cantidad de láminas que se requieren para la fabricación de las 200000 piezas de soporte común se realiza una regla de tres ya que si de una lámina se obtienen 496 piezas, al realizar la operación se obtiene que la empresa requiere de 404 láminas.

Seguidamente se multiplica el número de láminas por la masa de una lámina para conocer el equivalente en kilos y poder establecer una comparación entre el sistema actual y el sistema semi-automático en cuanto ahorro de material.

Tabla 5.1. Comparación entre el sistema actual y el sistema semi-automático.

	Sistema actual	Sistema semi-automático
Material requerido para las 200000 piezas. (Kg)	13109.8	13020.83
Scrap (Kg)	240	2.23

Al comparar ambos sistema se observa en la tabla 5.2 que el sistema actual requiere mayor de cantidad de material para poder cumplir con el objetivo de las 200000 piezas, adicionalmente genera mayor cantidad de scrap en comparación con el sistema semi-automático. Cabe destacar que la información relacionada con el scrap generado fue extraída del diagrama de corte.

Para la fabricación del Aspa De Ventilador el material se recibe en bobinas de 0.7 mm de espesor y 90 mm de ancho, esta tiene una masa de 337.51Kg, el precio de la bobina es de 8.60 BFs/Kg. La empresa con la implementación del sistema fabricara 27000 piezas.

Con la ayuda del diagrama de corte del cliente Oster que se encuentra en el anexo A se identifica el peso de una pieza que es de 0.0418Kg/pieza. Al multiplicar el valor anterior por el número de piezas que se quieren fabricar se obtiene que el consumo de material será de 1128.26Kg, esto tiene un costo de BFs 9706.67.

- Inventario de repuesto y otros materiales.

El costo para esta sección es el 30% de los costos de la adquisición de los equipos. Es decir BFs 4784.56. Este porcentaje fue recomendado por la empresa.

JUSTIFICACIÓN ECONOMICA**CAPÍTULO V**

Al realizar la suma del capital fijo con el capital de trabajo se obtiene la expresión que permite obtener el valor de la inversión inicial:

$$II = CF + CT \quad \text{Ec. 5.2}$$

Sustituyendo los valores del capital fijo y del capital de trabajo en la Ec.5.2 se obtiene:

$$II = \text{BFs } 74737.97$$

5.1.4 Costos operacionales:

Son los conjuntos de desembolsos que se requieren para que el proyecto una vez puesto en marcha continúe operando normalmente.

- Materia prima y otros materiales.

Material 1.4 para el Soporte Común = BFs 36067.69.

Material 1.2 Galvanizado para el Aspa de Ventilador = BFs 9706.67.

- Personal (Sueldos, salarios y beneficios sociales).

La empresa mensualmente cancela por cada operador la cantidad de BFs 1202.15 entre el salario, prestaciones sociales y bono de alimentación. Adicionalmente la empresa cancela anualmente a cada trabajador BFs 1331.5 por vacaciones remuneradas y BFs 2077.14 por utilidades.

- Mantenimiento.

El mantenimiento que se considera es el recomendado por el fabricante de los elementos de control, este cree que se debe realizar servicio cada seis meses para la cual se requiere de los servicios de un técnico especializado el cual tiene un costo aproximado de 150 BF/h. Esta actividad se realiza en un turno de trabajo.

5.1.5 Ingreso Bruto:

Es el producto del precio de venta del bien producido y/o servicio prestado por el volumen de ventas correspondiente al mes. La expresión 5.3 permite obtener el valor del ingreso bruto de cada producto que se fabrica.

$$IB = P_v \cdot Q \quad \text{Ec.5.3}$$

Donde:

P_v = Precio de venta del producto.

Q = Cantidad de producto.

Para el Soporte Común

$P_v = 0.5$ BF/piezas

$Q = 200000$ piezas

Sustituyendo el valor de Q y de P_v en la Ec.5.3 se obtiene el ingreso bruto que recibe la empresa mensualmente por la venta del soporte común.

JUSTIFICACIÓN ECONOMICA

CAPÍTULO V

$$IB_A = \text{BFs } 100000$$

Para el Aspa de licuadora:

$$P_v = 0.199 \text{ BFs/piezas}$$

$$Q = 27000 \text{ piezas}$$

Sustituyendo los valores de Q y P_v en la Ec. 5.3 se obtiene el ingreso bruto que recibe la empresa mensualmente por la venta del Aspa de Ventilador.

$$IB_B = \text{BFs } 5373$$

Para obtener el ingreso bruto total se sustituye los valores IB_A y IB_B en la Ec. 5.4

$$IB_{total} = IB_A + IB_B \quad \text{Ec.5.4}$$

$$IB_{total} = \text{BFs } 105373$$

5.1.6 Costo de Capital:

Es la cantidad de dinero que hay que pagar por utilizar un capital.

Este proyecto será financiado por la empresa Troqueles Nacionales por lo tanto el interés que se fijara para determinar la rentabilidad del proyecto, es el que le cancela el Banco Provincial a la empresa por mantener su capital en dicha entidad bancaria.

$$i = 20\%$$

5.2 Rentabilidad de un proyecto.

Es una medida que permite conocer de una manera anticipada el resultado global de la operación de un proyecto desde un punto de vista económico. Por esta razón, es necesario conocer la totalidad de los flujos monetarios asociados, la duración del proyecto y, por ende, el efecto de la tasa de interés o tasa mínima de rendimiento.

Para determinar la rentabilidad de un proyecto de inversión existen los siguientes modelos:

- El Valor Actual (VA)
- El Equivalente Anual (EA)
- La Tasa Interna De Retorno (TIR)

El modelo que se aplicara en este proyecto es el de la tasa interna de retorno, que es la tasa de interés que hace que los ingresos y los costos de un proyecto sean iguales.

Se plantea la Ec.5.5 para su determinación:

$$VA(i^*) = 0 \quad \text{Ec.5.5}$$

La tasa interna de retorno la podemos identificar en la grafica $VA(i)$ Vs i donde el TIR (i^*) es el corte de la curva con el eje de las abscisas.

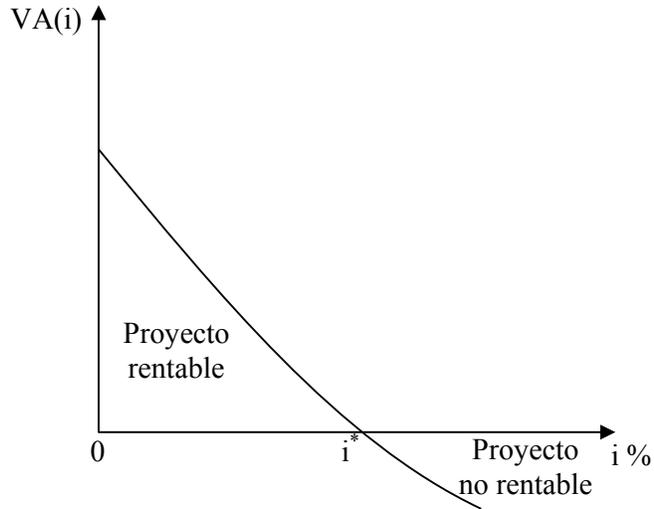
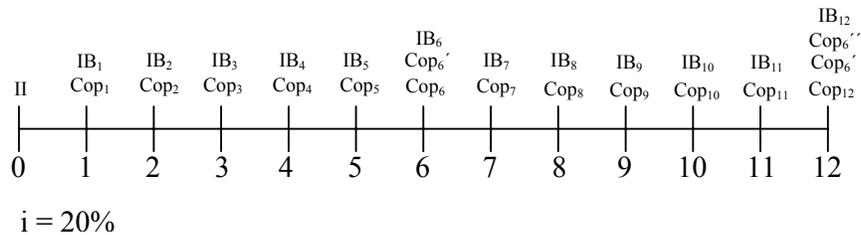


Figura 5.1. Valor Actual vs tasa mínima de rendimiento para un proyecto de inversión.

Fuente (“6”Salama. Inés Gonzalez.)

Para determinar el valor del TIR es necesario aplicar un procedimiento de tanteo que consiste en determinar los diferentes puntos (VA,i) de la función que se muestra en la figura 5.1. Para reducir el número de iteraciones en el procedimiento de tanteo se calcula un TIR aproximado utilizando la Ec.5.5, suponiendo la ocurrencia de ingresos netos constantes (F_t) e iguales al promedio de los valores reales, así:



JUSTIFICACIÓN ECONOMICA

CAPÍTULO V

Tabla 5.2. Flujos monetarios

	II (BFs)	Cop (BFs)	Cop' (BFs)	Cop''(BFs)	IB (BFs)
0	74737.97				
1		46976.51			105373
2		46976.51			105373
3		46976.51			105373
4		46976.51			105373
5		46976.51			105373
6		46976.51	1200		105373
7		46976.51			105373
8		46976.51			105373
9		46976.51			105373
10		46976.51			105373
11		46976.51			105373
12		46976.51	1200	3408.64	105373

$$\bar{F}_t = \frac{\sum_{t=1}^{12} F_t}{12} \quad \text{Ec.5.6}$$

$$\sum_{t=1}^{12} F_t = [(-46976.51 \cdot 12) - 1200 - 1200 - 3408.64 + (105373 \cdot 12)]$$

$$\sum_{t=1}^{12} F_t = 694949.24$$

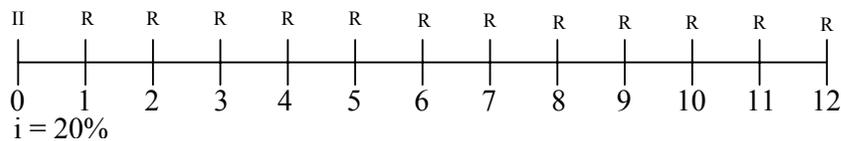
Sustituyendo el valor de la sumatoria de los flujos monetarios en la Ec.5.6 se obtiene:

$$\overline{F}_t = \frac{694949.24}{12}$$

$$\overline{F}_t = 57912.43 \frac{B^\circ F}{mes}$$

$$\overline{F}_t = R = 57912.43 BF_s$$

Expresando los flujos monetarios constantes sobre la escala de tiempo se tiene:



por lo tanto, la expresión que permite determinar la i^* a es:

$$VA(i^*_a) = -II + R\left(\frac{P}{R}i^*_a, 12\right) \quad \text{Ec.5.7}$$

Sustituyendo los valores de los flujos monetarios constantes, de la inversión inicial y del factor P/R en la Ec.5.7 se obtiene:

$$VA(i^*_a) = -74737.97BF_s + 57912.43BF_s\left(\frac{P}{R}i^*_a, 12\right)$$

$$VA(i^*_a) = 0$$

$$\left(\frac{P}{R}i^*_a, 12\right) = 1.2905$$

Para obtener el valor de la tasa interna de retorno aproximada se utiliza el valor de $n = 12$ que corresponde al número de meses, el factor $\left(\frac{P}{R} i^*_a, 12\right) = 1.2905$ y las tablas financieras que se encuentran en el anexo A.

Al tratar de identificar el interés en dichas tablas se observa que este es mayor de 70% y menor de 80%. Para obtener el valor de la tasa interna de retorno aproximada se utiliza un programa de ingeniería económica el cual se encuentra en la página web de HP.

$$i^*_a = 77.41\%$$

Entonces, se comienza el tanteo con ese valor que se ha obtenido:

$$VA(77.41\%) = -74737.97 + 105373 \cdot \left(\frac{P}{R} 77.41\%, 12\right) - 46796.51 \cdot \left(\frac{P}{R} 77.41\%, 12\right) \\ - 1200 \cdot \left(\frac{P}{S} 77.41\%, 6\right) - 1200 \cdot \left(\frac{P}{S} 77.41\%, 12\right) - 3408.64 \cdot \left(\frac{P}{S} 77.41\%, 12\right)$$

$$VA(77.41\%) = -74737.97 + 135983.21 - 60390.61 - 38.48 - 1.23 - 3.50$$

$$VA(77.41\%) = 811.42$$

El resultado obtenido del valor actual indica que el $i^* > i^*_a$, por lo tanto se realiza una próxima iteración con $i^* = 78.255\%$

$$VA(78.255\%) = -74737.97 + 105373 \cdot \left(\frac{P}{R} 78.255\%, 12\right) - 46796.51 \cdot \left(\frac{P}{R} 78.255\%, 12\right) \\ - 1200 \cdot \left(\frac{P}{S} 78.255\%, 6\right) - 1200 \cdot \left(\frac{P}{S} 78.255\%, 12\right) - 3408.64 \cdot \left(\frac{P}{S} 78.255\%, 12\right)$$

JUSTIFICACIÓN ECONOMICA**CAPÍTULO V**

$$VA(78.255\%) = -74737.97 + 134522.54 - 59741.92 - 37.40 - 1.16 - 3.31$$

$$VA(78.255\%) = 0$$

Por lo tanto al comparar VA (78.255%) con la Ec.5.4 se obtiene que:

$$i^* = 78.255\%$$

5.2.Toma de decisión para invertir.

Un proyecto es rentable si el $i \leq i^*$

Al comparar el interés con la Tasa Interna De Retorno (i^*) obtenida anteriormente se puede determinar que el proyecto es rentable y que la inversión se recupera en la primera semana que el sistema de alimentación entre en funcionamiento.

Con la implementación del sistema de alimentación diseñado se obtendría un aumento en la tasa de producción de 205%, al pasar de 1180 piezas/h que se producen actualmente a 3600pzas/h que se pueden producir utilizando el sistema de alimentación. Y en el caso de las aspas de 553%, al pasar de 650 piezas/h que se producen actualmente a 3600pzas/h que se pueden producir utilizando el sistema de alimentación.

Al utilizar el sistema de alimentación diseñado la cantidad de accidentes durante el proceso de producción de topes y aspas debe de reducirse en un 100%, ya que los accidentes reportado por la empresa que son relacionados con la fabricación de estos productos han ocurrido durante la alimentación de la lámina al troquel, con el sistema diseñado la alimentación de la lámina pasara a ser semi-automática y el operario no intervendrá directamente en ella.

Con la implementación del sistema de alimentación diseñado se desperdiciara un 92% menos de material, ya que el sistema actual genera 240Kg de scrap en comparación con 2.23Kg que generara el sistema semi-automático.

El proyecto es factible económicamente, ya que al realizar la comparación entre la tasa interna de retorno y la tasa de interés se demuestra que esta es mayor en 58.25% para el tiempo de estudio.

- Comprar el material cortado en bobinas del ancho requerido por el troquel para que una vez presente en planta éste sea colocado en un porta bobina y trasladado al área de prensa (producción) con lo cual la empresa no tendrá que disponer de dos operadores para cortar este material en tiras, de esta forma se podrá utilizar estos operadores en una actividad que le genere mayores ingresos a la empresa.
- Realizar un mantenimiento preventivo a los troqueles una vez terminada su producción, esto con el objetivo de eliminar cualquier scrap que halla quedado en las guías o vías de escape de las piezas, rectificado de punzones, matrices de ser necesario y verificación de resortes y tornillos.
- Realizar cada tres meses jornadas de entrenamiento al personal que manipule el sistema de alimentación, esto se debe a que la empresa contrata el personal trimestralmente.
- Establecer planes de mantenimiento preventivo y predictivo a las prensas, para mantenerla en funcionamiento, ya que el sistema de alimentación no podría ser utilizado en prensas que no estén en condiciones operativas.
- Realizar estudios de factibilidad para adaptar este tipo de sistemas de alimentación a otros productos que sean troquelados dentro de la empresa para aumentar los niveles de producción y seguir reduciendo los riesgos a los cuales están expuestos los operarios.
- Implementar el sistema propuesto.

1. Aparicio Gennifer; Camejo Franklin. *Laboratorio De Procesos De Fabricación I*. Editorial Universidad De Carabobo. Año 2003.
2. Avallone. Eugene A, Baumeister. Theodore. *Manual Del Ingeniero Mecánico*. Editorial McGraw Hill. 9Edición. Año 1999.
3. Jerez Víctor y Fernández Félix. *Rediseño y automatización de una maquina cortadora de láminas de aluminio en una empresa laminadora*. Editorial Universidad De Carabobo. Año 2006.
4. Mendoza Juan y Ramos Luís. *Rediseño del proceso de punzonado para estructuras pertenecientes a amortiguadores para vehiculo*. Editorial Universidad De Carabobo. Año 2005.
5. Norton Robert. *Diseño de Máquinas*. Editorial Prince Hall. Primera Edición. Año 1999.
6. Salama. Inés Gonzalez; Torrealba Venturina Guerra. *Evaluación De Proyectos De Inversión*. Editorial. Universidad De Carabobo. Año 2003.
7. Shirley Josehp. *Diseño De Ingeniería Mecánica*. Editorial McGraw Hill. 5^{ta} Edición. Año 2001.
8. Rebonatto D. Marcos A. *Diseño de un sistema automatizado de una máquina troqueladora de láminas de cartón*. Editorial Universidad De Carabobo. Año 1985
9. Vilchez Nelson. *Estrategias Creativas En El Diseño Mecánico*. Editorial Universidad De Carabobo. Año 2005.

1. <http://www.suviplac.com/angulos.html>
2. www.wikipedia.com
3. www.elprisma.com
4. www.festo.com
5. http://www.ing.uc.edu.ve/~emescobar/automat_I/contenido_menu/Unidad_III/Contenido/pagina4/pagina4.htm.
6. <http://www.hpcalc.org/search.php?query=economica>
7. http://www.ing.uc.edu.ve/~emescobar/automat_I/contenido_menu/Unidad_III/Contenido/pagina9/pagina9.htm#Uni3_Topico8.
8. <http://www.interempresas.net>.
9. <http://www.sc.ehu.es/>.
10. [http://es.wikipedia.org/wiki/Troqueles_y_troquelado_\(metalmec%C3%A1nica\)](http://es.wikipedia.org/wiki/Troqueles_y_troquelado_(metalmec%C3%A1nica))

ANEXOS

ANEXOS A

1. CATÁLOGO DE PRODUCTOS SIDERURGICOS (FERRUM).

- **PROPIEDADES DE LOS MATERIALES**

- VIGAS IPN
- VIGAS IPE
- VIGAS HEA
- VIGAS HEB
- VIGAS UPN
- VIGAS UPL
- VIGAS UPE
- VIGAS UPAM
- VIGAS WF
- VIGAS WF
- PROPIEDADES DE LA MATERIA PRIMA DE LAS VIGAS
- TUBOS DE SECCIÓN CIRCULAR
- TUBOS DE CARGA AXIAL ADMISIBLE
- TUBOS ESTRUCTURALES DE SECCIÓN RECTANGULAR
- TUBOS ESTRUCTURAL DE SECCIÓN CUADRADA.

2. CATALOGO DE ÁNGULOS (SUVIPLAC)

3. CATALOGO DE RODILLOS (ROLLERS CONVEYORS. S. A)

- **SERIE RCL**

4. CATALOGO DE RUEDAS GUIAS.

- **GUIDE WHEELS**

5. DIAGRAMA DE CORTE DEL SOPORTE COMÚN.

6. DIAGRAMA DE CORTE DEL VENTILADOR LICUADORA.

7. TABLAS FINANCIERAS (EVALUACIÓN DE PROYECTOS DE INVERSIÓN)

8. PRESUPUESTO DE FESTO.

ANEXOS B

1. CATALOGOS DE CILINDROS GUIADOS DFM/DFM-B.
2. CILINDROS DE CARRERA CORTA ADVC/AEVC.
3. CILINDROS COMPACTOS ADVU/AEVU.
4. CONTROLADORES FEC, STANDARD.