



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y
MECÁNICA**

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERO EN MECATRÓNICA**

**TEMA: “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA MÁQUINA
AUTOMÁTICA DE CORTE MULTIMATERIAL A TRAVÉS DE UN
SISTEMA HMI Y CONTROL DE CALIDAD MEDIANTE VISIÓN
ARTIFICIAL PARA TUBERÍAS DE HORNOS EN LA INDUSTRIA
METÁLICA COTOPAXI I.M.C.”**

**AUTORES: SANTOS CASTILLO, DARIO ALEXANDER
ALBARRACÍN PADILLA, ANA KATHERINE**

DIRECTOR: ING. TERÁN HERRERA, HÉCTOR COCHISE

LATACUNGA

2019



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA MÁQUINA AUTOMÁTICA DE CORTE MULTIMATERIAL A TRAVÉS DE UN SISTEMA HMI Y CONTROL DE CALIDAD MEDIANTE VISIÓN ARTIFICIAL PARA TUBERÍAS DE HORNOS EN LA INDUSTRIA METÁLICA COTOPAXI I.M.C.”** fue realizado por los señores **Santos Castillo, Dario Alexander** y **Albarracín Padilla, Ana Katherine** el mismo que ha sido revisado en su totalidad, analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Latacunga, 28 de enero del 2019

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'H. Terán', is written over a horizontal dotted line.

ING. HECTOR TERÁN



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, **Santos Castillo, Dario Alexander** y **Albarracín Padilla, Ana Katherine**, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA MÁQUINA AUTOMÁTICA DE CORTE MULTIMATERIAL A TRAVÉS DE UN SISTEMA HMI Y CONTROL DE CALIDAD MEDIANTE VISIÓN ARTIFICIAL PARA TUBERÍAS DE HORNOS EN LA INDUSTRIA METÁLICA COTOPAXI I.M.C.”** es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Consecuentemente el contenido de la investigación mencionada es veraz.

Latacunga, 28 de enero del 2019

Dario Alexander Santos Castillo
C.C: 0705451623

Ana Katherine Albarracín Padilla
C.C: 0503695074



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

AUTORIZACIÓN

Nosotros, **Santos Castillo, Dario Alexander** y **Albarracín Padilla, Ana Katherine**, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA MÁQUINA AUTOMÁTICA DE CORTE MULTIMATERIAL A TRAVÉS DE UN SISTEMA HMI Y CONTROL DE CALIDAD MEDIANTE VISIÓN ARTIFICIAL PARA TUBERÍAS DE HORNOS EN LA INDUSTRIA METÁLICA COTOPAXI I.M.C.”** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

Latacunga, 28 de enero del 2019

.....
Dario Alexander Santos Castillo
C.C: 0705451623

.....
Ana Katherine Albarracín Padilla
C.C: 0503695074

DEDICATORIA

Dario Alexander Santos Castillo

Dedico este trabajo principalmente a Dios, por ser el artífice de este logro alcanzado y permitirme llegar hasta este momento tan especial en mi vida profesional

A mis maravillosos padres Dario y Elena, quienes a su apoyo incondicional supieron alentarme día a día y saberme alentar en los momentos difíciles de mi vida.

A mis hermanos Ricardo y Marjorie por creer en mí, saberme impulsar y estar pendiente de mi formación académica día a día

Ana Katherine Albarracín Padilla

Dedico esta tesis principalmente a DIOS por darme siempre las fuerzas para continuar, por guiarme y darme sabiduría en las situaciones difíciles.

A mis padres Rafael y Marina por darme la vida, por creer en mí y luchar día a día para que lograra escalar y conquistar este peldaño más en la vida.

A mis hermanos Diego y Evelin por su apoyo, ayuda y estar pendiente de mi formación académica.

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a Dios por estar con nosotros en cada momento de nuestras vidas y sabernos guiar por el buen camino.

Agradecemos a la empresa INDUSTRIA METÁLICA COTOPAXI y de manera especial al Ingeniero Fabricio Andino por brindarnos su apoyo total en la realización de este proyecto.

A nuestros padres que han sabido velar por nuestro bienestar, siendo nuestros pilares fundamentales en nuestra formación académica.

Nuestros agradecimientos al Ingeniero Héctor Terán, por brindarnos su guía y motivación en la realización de este proyecto.

A la Universidad de las Fuerzas Armadas extensión Latacunga y sus docentes quienes nos brindaron sus conocimientos para poder aplicarlos en nuestro proyecto y nuestra vida como profesionales

Por ultimo un agradecimiento a todas las personas de la Industria Metálica Cotopaxi quienes nos brindaron su apoyo para la realización de nuestro proyecto.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CARÁTULA

CERTIFICACIÓN	i
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD.....	ii
AUTORIZACIÓN	iii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	vi
ÍNDICE DE TABLAS.....	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS	xv
RESUMEN.....	xxi
ABSTRACT.....	xxii

CAPÍTULO I

ASPECTOS GENERALES

1.1. Introducción	1
1.2. Planteamiento del problema	1
1.3. Antecedentes.....	2
1.4. Área de influencia	3
1.5. Justificación e importancia.....	3
1.6. Objetivos.....	4
1.6.1. Objetivo General.....	4
1.6.2. Objetivos específicos	5
1.6.3 .Alcance	5

CAPÍTULO II

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1. Estado del arte.....	6
2.1.1. Máquinas - Herramienta	6
2.1.2. Factores para la elección de la Máquina-Herramienta.....	6
2.2. Sierras de corte	7
2.2.1. Tipos de Sierras de Corte	7
2.2.2. Tipos de Hoja de Sierra de Cinta.....	10
2.2.3. Tipos de Operaciones para el Corte de Elementos	10
2.2.4. Hoja de Sierra Cinta.....	11
2.2.5. Parámetros de Corte.....	12
2.2.6. Selección de Los Dientes por Pulgada	12
2.2.7. Índice de Corte	13
2.3. Fluidos de corte (refrigerantes).....	16
2.4. Elementos con movimientos lineales.....	17
2.4.1. Formas de rosca para tornillos de potencia	17
2.5. Sensores.....	18
2.5.1. Tipos de Sensores	18
2.6. Plcs	19
2.6.1. Estructura General de Los PLCs	20
2.6.2. Plc siemens s7-1200.....	20
2.6.3. Especificaciones del CPU 1214C - 6ES7214-1AG40-0XB0	21
2.7. Motores paso a paso	21
2.7.1. Driver tb6560	22
2.8. Interfaz hombre maquina (hmi).....	22

2.8.1. Características Básicas de las HMI	23
2.9. Control de calidad mediante visión artificial	24
2.9.1. Principales ventajas de la visión humana respecto a la artificial y viceversa:	24
2.9.2. Etapas del Procesamiento Digital de Imágenes	25
2.9.3. Aplicaciones de la visión artificial.....	26
2.10. Software.....	27
2.10.1. Software para Programación de Automatas	27
a) TIA Portal.....	27
2.10.2. Software para Programación de Visión Artificial.....	28
a) LabVIEW.....	28

CAPÍTULO III

ANÁLISIS, DISEÑO Y SELECCIÓN DE DISPOSITIVOS EN BASE AL ESTUDIO DE LOS PARÁMETROS DE CORTE

3.1. Introducción	29
3.1.1. Diseño por Calidad	29
3.1.2. Casa de la Calidad.....	29
3.1.3. Determinación de Parámetros	30
a) Voz del Usuario	30
b) Voz del Ingeniero	30
3.1.4. Conclusión Casa de la Calidad	31
3.2. Diseño conceptual	34
3.2.1. Especificaciones para el Diseño	34
3.2.2. Principio Básico de Funcionamiento	35
3.2.3. Matriz Morfológica.....	37

3.2.4. Matriz De Evaluación	43
3.3. Diseño del sistema mecánico	45
3.3.1. Selección de Materiales.....	45
3.3.2. Diseño del Mecanismo Gripper.....	46
a) Fuerza de Apriete del Gripper.....	47
3.3.3. Diseño de Soportes del Gripper.....	48
a) Análisis del primer elemento del soporte	52
b) Análisis del segundo elemento del soporte.....	55
3.3.4. Diseño de la Riel Guía Circular.....	61
a) Diámetro de la Riel	64
b) Esfuerzo de Diseño.....	65
c) Esfuerzo de Máximo	65
d) Factor de Seguridad	67
e) Deformación Máxima	68
3.3.5. Diseño del Tornillo de Potencia y Selección del Motor Paso a Paso para Traslado de Tuberías.....	70
a) Selección del Tipo de Rosca	71
b) Avance.....	73
c) Par de torsión	73
d) Esfuerzo de tracción	74
e) Esfuerzo de torsión.....	74
f) Factor de seguridad	74
3.3.6. Diseño del Tornillo de Potencia y Selección del Motor Paso a Paso para Apriete del Gripper	75
a) Selección del Tipo de Rosca	76

b)	Avance.....	76
c)	Fuerza de Apriete	76
d)	Esfuerzo de tracción	77
e)	Esfuerzo de torsión	78
f)	Factor de seguridad	78
g)	Esfuerzo Máximo Del Tubo.....	79
h)	Deformación del Tubo.....	79
3.3.7.	Diseño del Caballete.....	80
a)	Justificación de cargas.....	85
3.3.8.	Diseño de la Mesa	86
a)	Esfuerzo de Diseño.....	88
b)	Esfuerzo Máximo	88
c)	Justificación de esfuerzos.....	89
d)	Factor de seguridad	89
e)	Deformación Máxima	89
3.4.	Diseño del sistema de control eléctrico.....	90
3.4.1.	Descripción de los Dispositivos de Control Eléctrico	90
a)	Plc.....	90
b)	Módulo de Salidas Digitales.....	91
c)	Touch Panel.....	92
d)	Motores Paso a Paso.....	92
e)	Fuente de Alimentación	93
3.4.2.	Diagramas de Conexiones Eléctricas	94
3.5.	Diseño del sistema de control de calidad.....	98

3.5.1. Descripción de los Dispositivos de Control de Calidad	98
a) Cámara	99
b) Sistema de Iluminación.....	100
c) Software.....	101
3.5.2. Sistema de Control de Calidad en LabVIEW	104

CAPÍTULO IV

CONSTRUCCIÓN, ACOPLAMIENTO E IMPLEMENTACIÓN DE LA MÁQUINA

4.1. Construcción de los sistemas mecánicos	106
4.1.1. Estructura base.....	106
4.1.2. Panel de mando.....	107
4.1.3. Mesa para la traslación del tubo	109
4.1.4. Mesa para salida del material	111
4.1.5. Caballetes.....	111
4.1.6. Sistema de ascenso y descenso de la cierra.....	112
4.1.7. Gripper Móvil y Estático	113
4.1.8. Soporte para la cámara	115
4.1.9. Filtrado y almacenamiento del refrigerante.....	115
4.2. Implementación del sistema de control eléctrico	115
4.2.1. Tablero de Control	115
4.2.2. Cableado de Motores.....	116
4.2.3. Pantalla HMI	117
4.2.4. Cableado de Sensores	119
4.3. Implementación del sistema de control de calidad	120
4.3.1. Implementación de la cámara e sistema de iluminación.....	120

4.3.2. Programación en el software LabVIEW	121
4.3.3. Comunicación con Servidor OPC	122

CAPÍTULO V

ANÁLISIS, PRUEBAS Y RESULTADOS

5.1. Validación de hipótesis	124
5.1.1. Hipótesis	124
5.1.2. Variables de la investigación	124
a) Variables Independientes	124
b) Variables Dependientes	124
5.2. Comprobación de hipótesis	124
5.3. Validación de la hipótesis	129
5.3.1. Prueba de tiempos de producción	129
5.3.2. Prueba de calidad	133

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones	136
6.2. Recomendaciones	138

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	139
---	-----

ANEXOS	143
---------------------	-----

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Selección de Diente por Pulgada</i>	13
Tabla 2 <i>Velocidad e Índice De Corte Para Distintos Materiales</i>	14
Tabla 3 <i>Factor de Corrección</i>	15
Tabla 4 <i>Tipos de Sensores</i>	19
Tabla 5 <i>Aplicaciones de la visión artificial</i>	26
Tabla 6 <i>Matriz morfológica de la estructura</i>	37
Tabla 7 <i>Matriz morfológica del transportador mecánico</i>	38
Tabla 8 <i>Matriz morfológica de la cinta de sierra</i>	38
Tabla 9 <i>Matriz morfológica de sistema ascenso y descenso de la sierra</i>	39
Tabla 10 <i>Matriz morfológica de la interfaz con el operador</i>	40
Tabla 11 <i>Matriz morfológica de los motores de los sistemas mecánicos</i>	40
Tabla 12 <i>Matriz morfológica del sistema de verificación de presencia de material</i>	41
Tabla 13 <i>Matriz morfológica del Controlador</i>	41
Tabla 14 <i>Matriz morfológica control de calidad</i>	42
Tabla 15 <i>Matriz de evaluación</i>	43
Tabla 16 <i>Material para la construcción de los componentes</i>	46
Tabla 17 <i>Factor de diseño para materiales dúctiles</i>	53
Tabla 18 <i>Factor de fijación para tipos de sujeción de columnas</i>	56
Tabla 19 <i>Límites de flexión recomendadas</i>	69
Tabla 20 <i>Diámetros y áreas de roscas métricas</i>	72
Tabla 21 <i>Análisis de tiempo de corte: Aluminio</i>	124
Tabla 22 <i>Análisis de tiempo de corte: Acero Negro</i>	124
Tabla 23 <i>Análisis de tiempo de corte: Acero Galvanizado</i>	125

Tabla 24 <i>Análisis de tiempo de corte: Acero Inoxidable</i>	125
Tabla 25 <i>Valores de frecuencias obtenidas (f_o)</i>	130
Tabla 26 <i>Calidad del producto final tiempo (f_o)</i>	132
Tabla 27 <i>Calidad del producto final cortes (f_o)</i>	133
Tabla 28 <i>Tabla de contingencia. Calidad</i>	134

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Sierra de Arco.....	7
Figura 2. Sierra Circular.....	8
Figura 3. Sierra de Cinta Vertical.....	9
Figura 4. Sierra de Cinta Horizontal.....	9
Figura 5. Tipos de dientes según su forma.....	11
Figura 6. Partes de una hoja de sierra.....	11
Figura 7. Tipos de triscado.	12
Figura 8. Rosca cuadrada.....	17
Figura 9. Rosca Acme	18
Figura 10. Rosca Acme	18
Figura 11. Diagrama generalizado de un PLC.....	20
Figura 12. Controlador programable S7-1200	21
Figura 13. Driver Microstepper TB6560.....	22
Figura 14. Interfaz Humano Máquina	23
Figura 15. Proceso de visión artificial	25
Figura 16. Representación esquemática de un S.V.A	26
Figura 17. SOFTWARE TIA Portal	27
Figura 18. SOFTWARE LabVIEW 2016	28
Figura 19. Casa de la Calidad	33
Figura 20. Diagrama de Flujo 1 del Proceso.....	35
Figura 21. Diagrama de Flujo 2 del Proceso.....	36
Figura 22. DCL del Gripper.....	47
Figura 23. Mecanismo del Gripper.....	48

Figura 24. DLC de la base del mecanismo gripper	50
Figura 25. Soporte del Gripper	50
Figura 26. Elementos independientes del soporte del gripper	51
Figura 27. DCL del primer apoyo del soporte	52
Figura 28. Diagrama de fuerza cortante y momento flector máximo del primer apoyo del soporte	52
Figura 29. Sección Rectangular del soporte	54
Figura 30. DCL del segundo apoyo del soporte	55
Figura 31. Ensamble de los soportes del mecanismo-gripper	61
Figura 32. DCL de la riel guía circular	61
Figura 33. Diagrama de fuerza cortante y momento flector máximo de la riel guía circular	63
Figura 34. Análisis de Esfuerzos Riel Guía Circular	66
Figura 35. Análisis del factor de seguridad	67
Figura 36. Análisis de Desplazamiento máximo	70
Figura 37. Rosca cuadrada y Acme	71
Figura 38. Especificaciones del motor a paso	75
Figura 39. Selección de las dimensiones del tubo cuadrado	80
Figura 40. Cortadora de sierra de cinta	81
Figura 41. Fuerza que actúa en cada caballete	82
Figura 42. Diagrama de fuerza cortante y momento flector máximo de la estructura del caballete	82
Figura 43. DCL Estructura del Caballete	83
Figura 44. Factor de seguridad del caballete	86
Figura 45. Modelo CAD de la mesa	87

Figura 46. Diagrama de cuerpo libre de un soporte de la mesa	87
Figura 47. Diagrama de fuerza cortante y momento flector máximo del soporte de la mesa.....	88
Figura 48. PLC S7-1200 CPU1214c DC/DC/DC	91
Figura 49. Módulo Salidas Digitales Relé SM1222.....	91
Figura 50. Módulo Salidas Digitales Relé SM1222.....	92
Figura 51. Motor PaP Nema 23 – Driver TB6560	93
Figura 52. Fuente de Alimentación TRIO POWER - 20 Amp.....	94
Figura 53. Distribución de Pines PLC S7-1200 CPU 1214 DC/DC/DC.....	95
Figura 54. Conexión Motores Paso a Paso con Driver TB6560.....	96
Figura 55. Configuración Drivers TB6560.....	96
Figura 56. Conexión Motores Paso a Paso con Driver TB6560.....	97
Figura 57. Entradas del PLC.....	97
Figura 58. Control de Potencia	98
Figura 59. Cámara FaceCam 1000x.....	99
Figura 60. Sistema de Iluminación Frontal.....	100
Figura 61. IMAQdx Open Camera	102
Figura 62. IMAQdx Configure Grab	102
Figura 63. IMAQdx Grab.....	102
Figura 64. IMAQ Create Vi.....	102
Figura 65. IMAQ Resample VI.....	103
Figura 66. IMAQ Copy Vi.....	103
Figura 67. IMAQ ExtractSingleColorPlane.....	103
Figura 68. IMAQ Convolute	103
Figura 69. IMAQ Clamp Vertical Max VI	104

Figura 70. IMAQ Clamp Horizontal Max VI	104
Figura 71. Panel Frontal de LabVIEW	104
Figura 72. Adquisición y Reprocesamiento de imagen	105
Figura 73. Segmentación y Representación de Imagen	105
Figura 74. Reconocimiento e Interpretación de Imagen	105
Figura 75. Desmontado de la base	107
Figura 76. Construcción de la nueva base	107
Figura 77. Montaje y Pintado de la Estructura Base	107
Figura 78. Cubierta del panel de mando	108
Figura 79. Estructura Panel de Mando	108
Figura 80. Montaje de la pantalla HMI y Botoneras en la estructura del panel de mando	108
Figura 81. Montaje del panel de mando en la estructura de la mesa	109
Figura 82. Construcción de la mesa con rodillos	109
Figura 83. Pintado de la mesa	110
Figura 84. Acoplamiento del tornillo de potencia, soportes lineales y gripper móvil para la mesa	110
Figura 85. Montaje de la mesa de traslación del tubo en la estructura base	110
Figura 86. Montaje de la mesa de salida del tubo en la estructura	111
Figura 87. Corte de tubo estructural para construcción de rodillos	111
Figura 88. Construcción de caballetes y acoplamiento de rodillos.	112
Figura 89. Montaje de rodillos al sistema de alimentación.	112
Figura 90. Construcción de los rodillos	113
Figura 91. Acoplamiento del sistema de ascenso y descenso de corte	113

Figura 92. Construcción y Ensamblaje de los grippers en los soportes lineales y Tornillo de Potencia	114
Figura 93. Acoplamiento del gripper móvil en la mesa de translación del tubo	114
Figura 94. Acoplamiento del gripper estático en la mesa base.....	114
Figura 95. Soporte para la cámara	115
Figura 96. Tablero de control.....	116
Figura 97. Motor del ascenso y descenso de la cierra.....	116
Figura 98. Motor para la traslación del material.....	117
Figura 99. Motor del gripper móvil	117
Figura 100. Motor del gripper estático	117
Figura 101. Energizado de Tablero	117
Figura 102. Pantallas principales del proceso manual y automático	118
Figura 103. Pantallas de posicionamiento manual y automático	118
Figura 104. Pantallas de control manual y automático	118
Figura 105. Sensor del material.....	119
Figura 106. Sensores de posicionamiento de la Sierra	119
Figura 107. Sensores para Posicionamiento del motor de traslación	119
Figura 108. Sensor de posicionamiento gripper móvil	120
Figura 109. Sensor de posicionamiento gripper estático	120
Figura 110. Conector de sensores.....	120
Figura 111. Cámara y sistema de iluminación	121
Figura 112. Tubería ¾ pulgada.....	121
Figura 113. Tubería 1 pulgada.....	121
Figura 114. Tubería 1¼ pulgada.....	122
Figura 115. Tubería 1½ pulgada.....	122

Figura 116. Servidor OPC.....	122
Figura 117. Búsqueda de Tags a la que se va a vincular	123
Figura 118. Análisis del tiempo de corte sistema automático	125
Figura 119. Análisis del tiempo de corte sistema manual.....	126
Figura 120. Análisis de la longitud del corte sistema automático.....	127
Figura 121. Análisis de la longitud del corte sistema manual	127
Figura 122. Análisis de la distancia entre corte sistema manual - automático.....	128
Figura 123. Análisis de corte al día manual automático	129
Figura 124. Tabal de Distribución Chi-cuadrado.....	131

RESUMEN

Las empresas en la actualidad deben estar encaminadas a perfeccionar e innovar en sus productos mediante la ayuda de la tecnología. Por lo tanto, el siguiente trabajo de titulación se encuentra enfocado al diseño e implementación de una máquina automática de corte para tuberías de hornos con diámetros de $\frac{3}{4}$, 1 , $1\frac{1}{4}$ y $1\frac{1}{2}$ de pulgada y espesor de 1.5 mm con una dureza de hasta 200 HB para la producción en serie en la Industria Metálica Cotopaxi (I.M.C.), donde la señalización y los cortes de los tubos para realizar la cañería era un proceso lento que requiere ser corregido. Mediante el diseño mecánico de adaptabilidad al proceso, la parte estructural de la máquina dispone de un sistema apropiado de alimentación y posicionamiento automático para el material, el cual se coloca y sujeta a la distancia requerida mientras se realiza el corte en forma automática. El sistema de automatización se implementó mediante autómatas programables, interfaces hombre-máquina (HMI) y demás equipos de automatización requeridos, donde la sierra puede adaptarse al proceso de semi-corte y corte completo, haciendo de esta manera que el proceso sea debidamente agilizado. Además, con la implementación de un control de calidad mediante visión artificial se determina el diámetro de la tubería, se realiza la verificación de los de semi-cortes y la distancia de separación entre los mismos dando como resultado un producto de buena calidad, la reducción de tiempo de trabajo de 40 minutos a 13 minutos, elevando la producción en un 60% e incremento en la precisión de los cortes.

PALABRAS CLAVES:

- **TUBERÍA - CORTE AUTOMÁTICO**
- **SISTEMA GRIPPER**
- **VISIÓN ARTIFICIAL**

ABSTRACT

Companies today must be aimed at improving and innovating their products through the help of technology. Therefore, the following titration work is focused on the design and implementation of an automatic cutting machine for furnace pipes with diameters of 3 / 4, 1, 1 1/4 and 1 1/2 of an inch and thickness of 1.5 mm with a hardness of up to 200 HB for the production in series in the Cotopaxi Metal Industry (IMC), where the signaling and the cuts of the pipes to make the pipe was a slow process that needs to be corrected. Through the mechanical design of adaptability to the process, the structural part of the machine has an appropriate system of feeding and automatic positioning for the material, which is placed and subject to the required distance while the cutting is performed automatically. The automation system was implemented using programmable automata, human-machine interfaces (HMI) and other required automation equipment, where the saw can adapt to the process of semi-cutting and complete cutting, thus making the process properly expedited. In addition, with the implementation of a quality control through artificial vision, the diameter of the pipe is determined, the verification of the semi-cuts and the separation distance between them is carried out, resulting in a product of good quality, the reduction of working time from 40 minutes to 13 minutes, raising production by 60% and increasing the precision of cuts.

KEYWORDS:

- **AUTOMATIC CUTTING SYSTEM**
- **GRIPPER**
- **ARTIFICIAL VISION**

CAPÍTULO I

ASPECTOS GENERALES

1.1. INTRODUCCIÓN

El presente proyecto busca realizar el diseño e implementación de una máquina automática de corte para tuberías de hornos con diámetros de $\frac{3}{4}$, 1 , $1\frac{1}{4}$ y $1\frac{1}{2}$, con una dureza de hasta 200 HB, donde la señalización y los cortes de los tubos para realizar la cañería es un proceso lento que requiere ser corregido, para lo cual se dispone de una máquina de sierra, mediante el diseño mecánico de adaptabilidad al proceso donde la parte estructural de la máquina contará con un sistema apropiado de alimentación y posicionamiento automático para el material, el cual se colocará y sujetará a la distancia requerida mientras se realiza el corte en forma automática.

La automatización se realizará mediante autómatas programables, interfaces hombre-máquina (HMI) y demás equipos de automatización requeridos, donde la sierra puede adaptarse al proceso de semi-corte y corte completo, haciendo de esta manera que el proceso sea debidamente agilizado.

El panel de control con interfaz gráfica HMI, contará con la posibilidad de ingresar el número de semi-cortes en el rango de 25 a 35, así como la distancia entre cortes de 12mm, siempre y cuando exista material. Además de un control de calidad mediante visión artificial que se encargará de determinar el diámetro de la tubería, realizar la inspección del corte y la distancia entre los mismos.

Las pruebas de verificación que nos indicará si el producto final es factible para su uso, es el color de la llama de fuego en los hornos la cual varía de acuerdo a la profundidad de corte empleada.

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La Industria Metálica Cotopaxi (I.M.C.), es una empresa dedicada a la fabricación y comercialización de una amplia gama de productos metal mecánicos a nivel nacional que busca la calidad tanto en sus productos como en los procesos llevados a cabo en su

construcción, los cuales conllevan demoras desde su punto de partida provocando una baja en la producción y en la calidad.(IMC, s.f.)

La fabricación de hornos consta de múltiples procesos (laminado, suelda, conexionado, etc.), provocando siempre una demora en la producción de los mismos. Un análisis permite determinar que uno de los procesos que se tilda como menos eficiente y sensible a ser corregible a la vez es la elaboración de cañerías para la circulación del gas; este proceso implica la señalización y el corte manual de la tubería por parte del trabajador provocando pérdidas de tiempos en la producción e incluso irrefutables grados de error que podrían de cierto modo comprometer la calidad del producto final entregado.

1.3. ANTECEDENTES

En el año de 1809, el inglés William Newberry patentó las sierras de cinta, las cuales en sus inicios se mantuvieron poco prácticas debido a la incapacidad de producir cuchillas precisas y duraderas usando la tecnología del momento, donde la flexión constante de la cuchilla sobre las ruedas provocó que fallara el material o la unión que lo soldaba en un bucle. En 1846 la francesa Anne Paulin Crepin crea y patenta una técnica de soldadura para superar este obstáculo, vendiendo el derecho de emplearlo al fabricante A. Perin & Company of Paris, donde se fabricó una cuchilla factible que emprendió la popularidad y el uso de máquinas de sierras de cinta. (Taunton's, 2012)

Las sierras de cinta han mejorado mucho, desde sierras de cinta manuales, sierras de cinta semiautomáticas y totalmente automáticas, son un elemento básico en la industria de la máquina herramienta y han afectado drásticamente la productividad dentro de las operaciones generales de corte: metal, madera u otros. (BandSawHub, 2016)

De trabajos con contenido y desarrollo tecnológico con sierras de cinta automática de corte se puede establecer:

- “Diseño de un sistema automático de corte y distribución de perfiles metálicos”, el cual está enfocado en el posicionamiento y medición del corte de los perfiles, que permite una respuesta rápida a los pedidos que de forma manual serían demasiado tardados en procesar, logrando una mejor calidad en el producto de

salida, además de evitar el contacto humano el cual es peligroso en este tipo de maquinaria. (Garcia y Juaregui, 2013)

- “Diseño e implementación de un sistema semi automático para posicionamiento y corte de perfiles metálicos en base al análisis de optimización de los parámetros de corte por serrado, para la empresa "INDUSTRIA METÁLICA COTOPAXI", el cual consta con un sistema adecuado de alimentación y posicionamiento del material, colocándolo y sujetándolo a la distancia requerida mientras se realiza el corte en forma automática. (Zapata, 2017)

En la actualidad las sierras de cinta automáticas son utilizadas para ámbitos de trabajo donde no es práctico tener un operario de maquinaria por cada aparato, ya que un sólo operador puede hacerse cargo de varias sierras, además manejan velocidades de alimentación preestablecidas, reversa y sujeción de partes. Algunas funcionan mediante control numérico por computadora para efectuar cortes más precisos y complejos.

1.4. ÁREA DE INFLUENCIA

El presente proyecto está enfocado a una empresa Cotopaxense situada en el Cantón Latacunga, para el mejoramiento de procesos industriales en el sector de metal mecánica mediante la aplicación de técnicas de automatización y control de calidad con visión artificial, toman consideraciones mecánicas para la readecuación de maquinaria dirigida a procesos específicos, utilizando dispositivos y equipos como sensores, plc's, HMI y cámaras que están destinados al control de procesos, la selección y el respectivo manejo y coordinación de las operaciones.

1.5. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA.

Mediante el presente proyecto se pretende cumplir con lo que establece el Plan Nacional del Buen Vivir 2013-2017, de acuerdo objetivo 4 literal 4.6, que promueve la transferencia, el desarrollo y la innovación tecnológica, a fin de impulsar la producción nacional de calidad y alto valor agregado, con énfasis en los sectores priorizados como: la investigación, diseño y construcción de máquinas automáticas de corte de tubos metálicos. (Secretaria Nacional de Planificación y Desarrollo, 2017)

Según el Decreto Ejecutivo 2393, la Industria Metálica Cotopaxi I.M.C, quiere cumplir con el REGLAMENTO DE SEGURIDAD Y SALUD DE LOS TRABAJADORES Y MEJORAMIENTO DEL MEDIO AMBIENTE DE TRABAJO de acuerdo al artículo 11, literales 2 y 3 de Obligaciones de los empleadores, “Adoptando las medidas necesarias para la prevención de los riesgos que puedan afectar a la salud y al bienestar de los trabajadores en el proceso de corte siendo esta una actividad de peligro que conllevan a riesgos físicos para el operador que afecta directamente los ojos y es producida por el desprendimiento de viruta de los tubos durante la operación de corte, por lo que es ineludible la seguridad del operador dentro de la actividad.”, “Mantener en buen estado de servicio las instalaciones, máquinas, herramientas y materiales para un trabajo seguro”.

A pesar de la gran cantidad de maquinaria existente, la mayoría simplemente no puede adaptarse a ciertos procesos industriales, es en ese momento cuando dicha maquinaria precisa de modificaciones tanto mecánicas y de control que otorgue adaptabilidad, facilidad en el uso y agilidad en el proceso destinado.

En la provincia de Cotopaxi existe una gran competencia de empresas dedicadas a la metal-mecánica, este es un factor de suma importancia para la Industria Metálica Cotopaxi para su innovación o mejoramiento a nivel de producción, por lo cual al implementar una máquina automática de corte multimaterial ayudará a la optimización del tiempo de producción y la calidad del producto, permitiendo que la empresa se desarrolle y pueda ser competitiva.

1.6. OBJETIVOS

1.6.1. Objetivo General

Diseñar e implementar una máquina automática de corte multimaterial y control de calidad para tuberías de hornos mediante visión artificial para la Industria Metálica Cotopaxi I.M.C.

1.6.2. Objetivos específicos

- Investigar las tecnologías existentes vinculadas al control de calidad de corte de cañerías de hornos.
- Diseñar y modelar el sistema de alimentación automática multimaterial a través del uso de software CAD CAE.
- Elaborar un control de avance de 12mm y profundidad de 3mm para la sierra mediante la implementación de elementos mecánicos con alimentación automática multimaterial de tuberías para el proceso de corte.
- Implementar un sistema de control mediante una interfaz hombre máquina HMI y control de calidad mediante visión artificial para el proceso de automatización del corte de tuberías utilizando el método de corte por serrado.
- Realizar pruebas y análisis de resultados de la calidad del sistema de corte por serrado multimaterial para diferentes diámetros.

1.6.3. Alcance

- Diseñar y modelar el sistema mecánico de alimentación automática para tuberías de $\frac{3}{4}$, 1, $1\frac{1}{4}$ y $1\frac{1}{2}$ pulgada de diámetro con espesor de 1.5 milímetros.
- Analizar esfuerzos de los elementos mecánicos.
- Analizar los sistemas eléctricos y electrónicos de la máquina.
- Construir e implementar los sistemas mecánicos que permita el control de avance y profundidad de la sierra de corte para tuberías de materiales con una dureza de hasta 200 HB.
- Elaborar e implementar el control de calidad mediante visión artificial para establecer las medidas de longitud, profundidad y geometría en los semi-cortes elaborados en los tubos.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1. ESTADO DEL ARTE

2.1.1. Máquinas - Herramienta

Son aquellas máquinas que desarrollan su labor mediante un utensilio o herramienta de corte convenientemente perfilada y afilada que máquina y se pone en contacto con el material a trabajar produciendo en éste un cambio de forma y dimensiones deseadas mediante el arranque de partículas o bien por simple deformación. (Escalona, 2009)

2.1.2. Factores para la elección de la Máquina-Herramienta

- **Según el aspecto de la superficie que se desea obtener.**

Se debe deducir los movimientos de la herramienta y de la pieza, dependiendo de las características de cada máquina-herramienta.

- **Según las dimensiones de la pieza a maquinar.**

Se debe tomar en cuenta las dimensiones del desplazamiento de trabajo de la máquina-herramienta para saber si cumple con la necesidad de la pieza a maquinar.

También se debe considerar lo siguiente:

- ✓ La potencia requerida para el arranque de viruta que estará en función de la profundidad de corte.
 - ✓ La velocidad de avance
 - ✓ La velocidad de corte
-
- **Según la cantidad de piezas a producir.**
 - ✓ Máquinas corrientes

- ✓ Máquinas semiautomáticas
- ✓ Máquinas automáticas

- **Según la precisión requerida.**

2.2. SIERRAS DE CORTE

El uso principal de las sierras es para cortar el material a longitud necesaria para otras operaciones. La adaptabilidad de las sierras permite usarla para cortar formas y contornos irregulares. Las sierras son herramientas de corte de puntas múltiples en los tipos de hoja para sierras de arco, sierras circulares y sierras de cinta. (Kibbe, 2002)

2.2.1. Tipos de Sierras de Corte

- **La Sierra De Arco**

Utiliza una acción cortante alternativa en la hoja, la cual está montada para alternar en un plano horizontal. El movimiento de corte es perpendicular al plano de la pieza de trabajo, la cual se monta en un tornillo de banco como se muestra en la figura 1. El avance se produce con el movimiento vertical de la hoja de la sierra de arco, con accionamiento hidráulico o mecánico.



Figura 1. Sierra de Arco.
Fuente: (Cienciamatik, 2018)

- **Sierras Circulares**

Las máquinas de sierra circular incluyen corte en frío, corte con disco de abrasivo, sierras de mesa y sierras de brazo. El corte en frío se suele utilizar para recorte en operaciones automatizadas. El tipo de hoja o disco depende del material y de la velocidad de la máquina. Las sierras en frío tienen hojas rotatorias en plano vertical y el avance se aplica a la sierra en plano horizontal, rectilíneo.

Las hojas de fricción pueden utilizarse en sierras circulares de alta velocidad, especiales para hojas de fricción. Igual que en las sierras de cinta, la sierra circular de fricción ofrece un medio para el corte rápido de materiales ferrosos y algunos plásticos termoendurecibles. En el corte con disco de abrasivo se emplea un disco con aglutinación resinoide o con caucho, que gira con altas velocidades; este método efectúa cortes rápidos y precisos.



Figura 2. Sierra Circular.
Fuente: (Robert Bosch GmbH, 2018)

- **Sierras De Cinta**

El aserrado con cinta implica un movimiento lineal continuo que utiliza una sierra cinta hecha en forma de banda flexible sin fin con dientes en uno de sus bordes. La máquina aserradora es una sierra cinta, que tiene un mecanismo de transmisión con poleas para mover y guiar continuamente la sierra cinta delante del trabajo. (Groover, 1997)

Los tipos comunes de sierra de cinta son tronzadora o cortadora y de contornos.

- Sierra de cintas cortadoras:
 - Verticales:

- ✓ La hoja se mueve en el plano vertical
- ✓ La hoja y su soporte pueden inclinarse en ángulos hasta de 45 grados para producir corte en bisel



Figura 3. Sierra de Cinta Vertical.
Fuente: (Direct Industry, 2018)

- Horizontales se utilizan para recorte de trabajo pesado.
 - ✓ La hoja se mueve en el plano horizontal perpendicular a la pieza de trabajo como se observa en la figura 3.
 - ✓ Estas tienen la adaptabilidad de una sierra de arco, produciendo superficies de mayor calidad.



Figura 4. Sierra de Cinta Horizontal.
Fuente: (Direct Industry, 2018)

- Las sierras de cinta de contorno se utilizan para cortar formas irregulares y para trabajo normal de trozado.
 - ✓ La mesa puede inclinarse a diversos ángulos para cortar bisel y ángulos en la pieza de trabajo.

- ✓ Estas cierras suelen tener una soldadura instantánea y esmeriladora integradas como equipo de fábrica, para reparar las hojas rotas.

2.2.2. Tipos de Hoja de Sierra de Cinta

Existen tres tipos de sierra cinta para corte de metal, cada una con funciones específicas. (MIPSA, 2015)

- **Acero al carbono.** - Hojas con dientes templados, construidas con una sola pieza de acero al carbono. Destinadas al corte de madera y alimentos.
- **Bimetálicas.** - Tienen una fabricación especial, en la que un hilo de acero rápido es soldado electrónicamente a un fleje de acero. El fleje contiene 4% de cromo y está desarrollado para tolerar cargas mecánicas y dinámicas, presenta alta resistencia a la fatiga y al desgaste que la hace ideal para cortar metales de todo tipo: ferrosos y no ferrosos, aceros aleados en alta temperatura, aleaciones de alta dureza, acero de herramienta y acero inoxidable.
- **Carburo de tungsteno.** - Hojas en las que la punta de los dientes es de carburo. Esta herramienta está desarrollada para el corte de aleaciones de gran resistencia y donde se requiere altos rendimientos en los procesos de corte.

2.2.3. Tipos de Operaciones para el Corte de Elementos

El corte de los distintos elementos se puede realizar de múltiples formas y maneras dentro de la cual los procesos de corte son:

- Cizallado.
- Cincelado.
- Serrado.
- Corte por plasma.

Donde el corte por serrado será utilizado para nuestro análisis de estudio.

- **Corte por Serrado**

El serrado es un proceso en el que se corta una hendidura angosta dentro de la pieza de trabajo por medio de una herramienta que tiene una serie de dientes estrechamente espaciados. El aserrado se usa normalmente para separar una pieza de trabajo en dos piezas o para cortar un trozo no deseado de la pieza. El aserrado es un proceso importante de manufactura, ya que muchas fábricas requieren de operaciones de corte en algunos puntos de su secuencia de manufactura. (Peña y Ortega, 2013)

En la mayoría de las operaciones de aserrado el trabajo se mantiene estático y la hoja de la sierra se mueve respecto a él.

2.2.4. Hoja de Sierra Cinta

Las características comunes de las hojas de sierra, incluyendo la forma de los dientes, el espaciado entre dientes y la disposición de los dientes.

- **Forma de los dientes:** Es la geométrica de cada diente de corte.

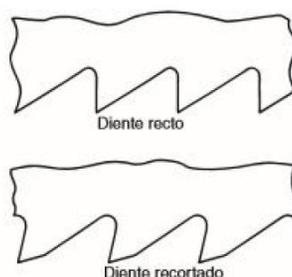


Figura 5. Tipos de dientes según su forma.
Fuente: (MIPSA, 2015)

- **Espaciado entre dientes:** Determina el tamaño del diente y el tamaño de la garganta entre los dientes lo que proporciona un espacio para la formación de viruta.

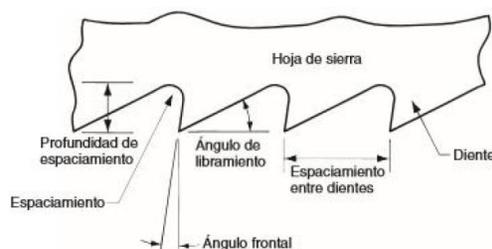


Figura 6. Partes de una hoja de sierra.
Fuente: (MIPSA, 2015)

- **Disposición de los dientes:** Permite que el corte sea más amplio que el ancho de la sierra misma; de otra forma la hoja se podría pegar a las paredes de la hendidura hecha por la sierra cinta.

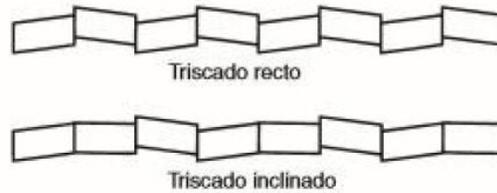


Figura 7. Tipos de triscado.

Fuente: (MIPSA, 2015)

2.2.5. Parámetros de Corte

Las cintas presentan diferentes tipos de dientes, de acuerdo al material a cortar, en general, a mayor espesor el material, menor será el número de dientes; y por el contrario, a menor espesor del material, mayor será el número de dientes.

- **Tamaño del diente:** Está en función del tipo de dentado utilizando.
- **Paso Constante:** Distancia uniforme entre las puntas de los dientes, tamaño y altura de dientes iguales) para cortes en general.
- **Paso Variable:** Distancia variable entre las punas de los dientes, tamaño y altura de dientes variable) para reducir los niveles de vibración y ruido.
- **Ancho de la cinta:** Medida desde la punta del diente hasta el lomo de la hoja
- **Cantidad de dientes por pulgada.**

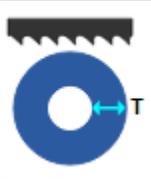
2.2.6. Selección de Los Dientes por Pulgada

Método para seleccionar los dientes por pulgada que debe emplearse en función de la forma y dimensión del material empleando en la tabla 1. (MIPSA, 2015)

Procedimiento de selección:

1. Determinar el tamaño y la forma del material que se desea cortar.
2. Buscar los dientes por pulgada que correspondan según el tamaño del material

Tabla 1
Selección de Diente por Pulgada.



pulg.	Dientes por pulgada	mm
.05	14/18	1
		2
.10	10/14	3
		4
.15	8/12	
		5
.20	6/10	
		6
.25	6/8 5/8	7
.30		8
.35		
.40	4/6	9
.45		10
.50		
.60		15
.70		
.80	3/4	20
.90		25
1		
		30
1.5	2/3	40
2		50

Fuente: (MIPSA, 2015)

2.2.7. Índice de Corte

La tabla 2 permite orientar la distancia que se debe emplear para cortar determinada pieza en función del tiempo, este se mide en centímetros cuadrados por min (cm^2/min) y se determina por la dureza del material y la velocidad del corte.

Tabla 2.
Velocidad e Índice De Corte Para Distintos Materiales

Material	Dimensión de la pieza ancho (cuadrado sólido) / diámetro (redondo sólido)			50 – 125 mm
	Norma ABNT / AISI / SAE	Dureza	VC (velocidad) m/min	IC (Índice de corte) cm ² /min
Aceros al carbono	1005 – 1012	150 HB	79 – 91	77 – 103
	1015 – 1026	150 HB	76 – 88	71 – 97
	1030 – 1055, A36	175 HB	55 – 67	52 – 58
	1060 – 1095	200 HB	49 – 61	39 – 52
Aceros rápidos	M1, M2, M7, M10	225 HB	30 – 40	19 – 26
	M3, M4, M30 – M47	225 HB	20 – 30	13 – 19
	T1, T2, T6	250 HB	34 – 40	19 – 26
	T15	250 HB	18 – 27	13 – 19
	T4, T5	252 HB	27 – 37	13 – 19
Aceros níquel cromo molibdeno	4320	175 HB	61 – 73	45 – 58
	4340	200 HB	55 – 67	39 – 52
	8115, 8615, 8145, 8625 – 8637	175 HB	61 – 73	45 – 58
	8640 – 8660, 8740	200 HB	55 – 73	39 – 52
	8720, 8822	200 HB	61 – 73	45 – 58
	9310	175 HB	49 – 58	19 – 26
	9430 – 9445	200 HB	55 – 67	39 – 52
Aceros de herramientas de trabajo en frío	A2 – A6, A8 – A10	200 HB	55 – 67	19 – 26
	D2 – D7, A7	250 HB	20 – 30	13 – 19
	O1, O2, O6, O7	200 HB	55 – 67	26 – 39
Aceros inoxidable austeníticos	201, 202, 301 – 308, 321, 347	150 HB	30 – 37	19 – 26
	A286, 309, 310, 314, 316, 317, 330	175 HB	21 – 24	10 – 13
Aceros inoxidable ferríticos	405, 409, 430, 434, 436, 442, 446	175 HB	24 – 30	19 – 26
Aceros inoxidable martensíticos	403, 410, 420, 422, 501, 502	175 HB	19 – 26	19 – 26
	440A-C, 414, 431	225 HB	27 – 30	19 – 26

Fuente: (MIPSA, 2015)

- **Tiempo de Corte**

$$T_c = \frac{A}{Ic * \text{factor de correccion}}$$

Donde:

T_c = Tiempo de corte

A = Área de la sección del material

I_c = Índices de corte

- **Factor de corrección para cortes de tubos**

Tabla 3

Factor de Corrección

Factor de Corrección	Espesor de pared (mm)
2.5	2 - 5
2	6 - 10
1.7	12 - 15
1.4	20 - 25
1.2	30 - 60

Fuente: (MIPSA, 2015)

- **Velocidad de Corte**

Como norma, hay que elegir la sierra de diámetro lo más pequeño posible con el objeto de maximizar la estabilidad y minimizar el ancho de corte. Sin embargo, esto debe también coincidir con la velocidad de la máquina para que la herramienta gire a la velocidad de corte más apropiada. Las sierras con puntas de carburo requieren de una velocidad relativamente alta. (MICOR, 2018)

$$N = \frac{V_c * 7}{L} \text{ (GPM)}$$

Cálculo de información de corte

- ✓ N = golpes por minuto (GPM)
- ✓ V_c = velocidad de corte (m/min)
- ✓ L = Longitud de corte (m)

- **Alimentación por Diente**

Para lograr una larga vida y buen resultado en el corte es importante utilizar una correcta alimentación por diente.

- ✓ Una velocidad de avance lenta provoca un rápido desgaste del borde cortante.

- ✓ Una velocidad de avance muy rápida puede hacer que los desechos no despejen la garganta provocando la ruptura de los dientes.

Se puede calcular la alimentación por diente usando la siguiente fórmula:

$$S_z = \frac{S \cdot 1000}{N \cdot z} (mm)$$

- **Altura de la Sierra sobre la Pieza de Trabajo**

Los fabricantes de herramientas y máquinas recomiendan un cierto ángulo de ataque sobre el material a cortar. Las sierras están generalmente diseñadas para una altura de trabajo estándar de entre 10-25 mm sobre el material a cortar.

2.3. FLUIDOS DE CORTE (REFRIGERANTES)

Se utiliza un refrigerante para mejorar las condiciones del proceso de maquinado, bañando la superficie en donde se efectúa el corte. (Escalona, 2009)

Los objetivos principales del refrigerante son:

- ✓ Disipación del calor generado.
- ✓ Lubricar los elementos que actúan en el corte para evitar la pérdida de la herramienta.
- ✓ Disminuir la energía necesaria para efectuar el corte.
- ✓ Prevenir la oxidación y corrosión de la pieza.
- ✓ Arrastrar las partículas del material.
- ✓ Mejorar el acabado superficial.

Las propiedades esenciales que los líquidos de corte deben poseer:

- ✓ **Poder refrigerante:** El líquido debe tener una baja viscosidad, alto calor específico y elevada conductibilidad térmica.

- ✓ **Poder lubricante:** Reducir el coeficiente de rozamiento en una medida tal que permita el fácil deslizamiento de la viruta sobre la cara de la herramienta.

2.4. ELEMENTOS CON MOVIMIENTOS LINEALES

Los tornillos de potencia, los gatos y los tornillos de bolas están diseñados para convertir movimientos de rotación en movimiento lineal, y ejercer la fuerza necesaria para mover un elemento de máquina a lo largo de determinada trayectoria. Usan el principio de una rosca de tornillo y su tuerca correspondiente. Una necesidad común en el diseño mecánico es la de mover componentes en línea recta. Las máquinas herramientas mueven las herramientas de corte, o las piezas que se van a maquinar, en línea recta, sea en sentido horizontal o vertical, para dar al metal las formas que se desean. (Mott R. L., 2006)

2.4.1. Formas de rosca para tornillos de potencia

- **Rosca cuadrada:** Posee mayor rendimiento y es más eficiente debido a que necesita menor par torsional para mover una carga a lo largo del tornillo.

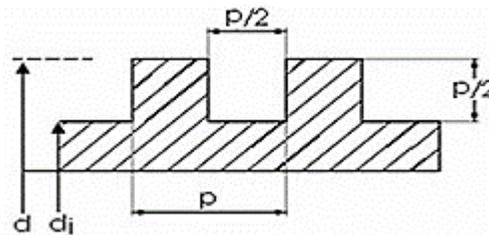


Figura 8. Rosca cuadrada.

Fuente: (Galbarro, 2018)

- **Rosca Acme:** La rosca Acme de 29° es una de las más utilizadas por el buen ajuste que tiene y fácil de construir por estar normalizada.

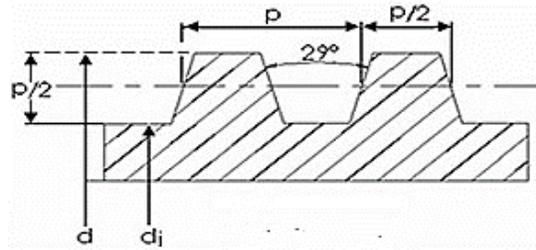


Figura 9. Rosca Acme

Fuente: (Galbarro, 2018)

- **Rosca Unificada:** Fácil construcción y normalizada

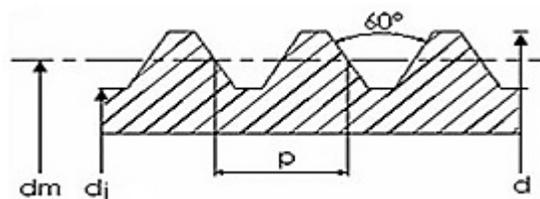


Figura 10. Rosca Acme

Fuente: (Galbarro, 2018)

2.5. SENSORES

Los datos de entrada y de realimentación de los sistemas de control se introducen mediante unos dispositivos, normalmente electrónicos que se denominan sensores.

El sensor convierte la información que le llega del exterior en un impulso eléctrico, normalmente digital, que puede ser analizado y procesado por la unidad de control del sistema. (Recurstic, 2018)

2.5.1. Tipos de Sensores

Existen diferentes tipos de sensores, en función del tipo de variable que tengan que medir o detectar:

Tabla 4
Tipos de Sensores

SENSORES	CONCEPTO
De contacto	Detecta el final el recorrido o posición límite de componentes mecánicos. Ejemplo: Finales de carrera
Ópticos	Detectan la presencia de un objeto o persona que interrumpe el haz de luz que llega al sensor. Ejemplo: Fotorresistencias, LDR
Térmicos	Los termistores son los principales sensores de temperatura
De humedad	Cables desnudos que conducen una pequeña cantidad de corriente si el ambiente es húmedo
Magnéticos	Detectan campos magnéticos que provocan los imanes o las corrientes eléctricas
Infrarrojos	Detecta franjas de ondas electromagnéticas cuya frecuencia es muy baja para que los ojos la detecten.
Inductivos	Detectan materiales ferrosos
Capacitivo	Detectan metales y no metales que al aproximarse a la superficie activa exceden una determinada capacidad.

2.6. PLCs

Es un instrumento electrónico que utiliza una memoria programable que guarda instrucciones sobre determinadas funciones, como operadores lógicos, secuencias de acciones, especificaciones temporales, contadores y cálculos para el control mediante módulos de E/S analógicos o digitales sobre diferentes tipos de máquinas y procesos. Siendo un mecanismo que permite realizar tareas más rápidas y evitando la aparición del hombre en procesos peligrosos. (DIEEC, 2017)

2.6.1. Estructura General de Los PLCs

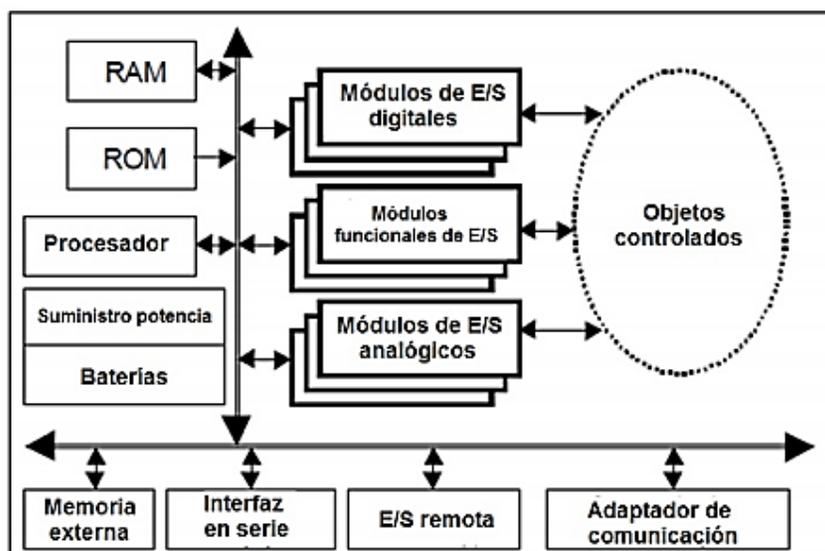


Figura 11. Diagrama generalizado de un PLC.

Fuente: (DIEEC, 2017)

2.6.2. PLC SIEMENS S7-1200

Este controlador lógico ofrece la flexibilidad y capacidad de controlar una gran variedad de dispositivos para las distintas tareas de automatización al tener un diseño compacto, una configuración flexible y un amplio juego de instrucciones.

La CPU incorpora un microprocesador, una fuente de alimentación integrada, así como circuitos de entrada y salida en una carcasa compacta, conformando así un potente PLC.

La CPU cambia el estado de las salidas según la lógica del programa de usuario, que puede incluir lógica booleana, instrucciones de contaje y temporización, funciones matemáticas complejas, así como comunicación con otros dispositivos inteligentes. Los módulos de comunicación están disponibles para la comunicación en redes RS485 o RS232. (INDUSTRIA SIEMENS, 2009)

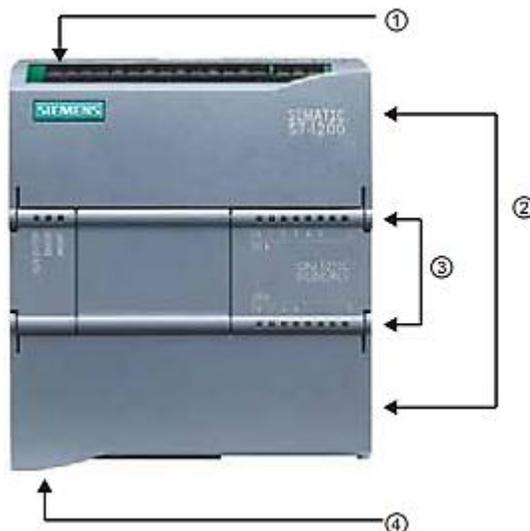


Figura 12. Controlador programable S7-1200

Fuente: (INDUSTRIA SIEMENS, 2009)

- ① Conector de corriente
- ② Conectores extraíbles para el cableado de usuario y ranura para tarjeta de memoria
- ③ LEDs de estado para las E/S integradas
- ④ Conector PROFINET o ETHERNET

2.6.3. Especificaciones del CPU 1214C - 6ES7214-1AG40-0XB0

- ✓ 14 Entradas digitales 24V DC
- ✓ 10 Salidas digitales 24V DC
- ✓ 2 Entradas analógicas 0-10 V
- ✓ Alimentación 24V DC
- ✓ Memoria programa / datos 100 KB

2.7. MOTORES PASO A PASO

Es el convertidor electromecánico que permite la conversión de una información en forma de energía eléctrica, en una energía mecánica y una información de posición.

Está constituido por un estator cuyos devanados se llaman fases y un rotor de un elevado número de polos. Su funcionamiento es síncrono y la alimentación cíclica de sus fases debe originar en cambio de configuración un giro elemental del rotor, constante, llamado paso. (UPNA, 2017)

2.7.1. DRIVER TB6560

Este controlador de motores paso a paso es ajustable y de uso sencillo, usa acoplamiento óptico 6N137 de alta velocidad para garantizar que esta no influya en pérdidas en el control de pasos que el motor proporciona. El mismo módulo tiene impreso sobre su board instrucciones de uso para llevar a cabo conexiones de la manera adecuadamente. Trae consigo un disipador de calor el cual permite que el módulo se mantenga a una temperatura adecuada y el funcionamiento del mismo no se vea afectado. (ELECTRONILAB, 2015)

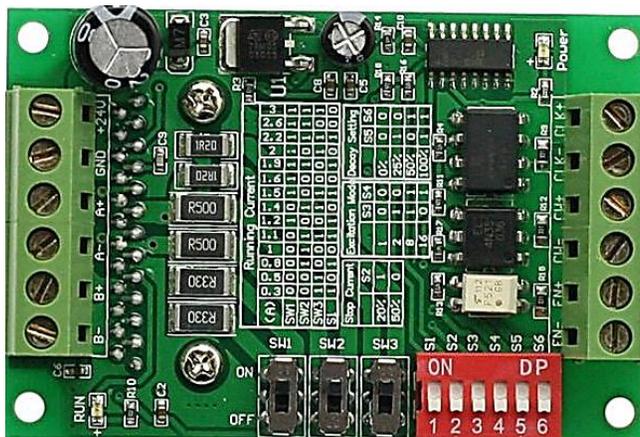


Figura 13. Driver Microstepper TB6560

Fuente: (ELECTRONILAB, 2015)

2.8. INTERFAZ HOMBRE MAQUINA (HMI)

Cuando los seres humanos y los computadores interactúan lo hacen a través de un medio o interfaz hombre – máquina, que definimos como HMI. (Rodríguez, 2010)

La HMI se define como un punto u objeto de interfaz que permite una conexión de dos procesos distinto que tienen un objetivo en común, poniendo en contacto seres humanos y máquinas lo que permite tener mayor control y visualización de los procesos.

Algunas de estas interfaces son:

- ✓ Pantallas de texto
- ✓ Paneles de operación
- ✓ Pantallas táctiles
- ✓ PC industriales



Figura 14. Interfaz Humano Máquina
Fuente: (Delta Electronics, 2019)

2.8.1. Características Básicas de las HMI

- 1. Indicación del estado del proceso:** Se utiliza equipos convencionales, terminales de video, impresoras, registradoras, diodos emisores de luz (LED). (Vasquez, G., 2016)
- 2. Tratamiento e indicación de alarmas:** Busca información para el operador de una anomalía en el proceso. Estas alarmas se pueden representar pantalla.
- 3. Ejecución de acciones de mando:** Se realiza por técnicas convencionales que pueden ser pulsadores, interruptores, potenciómetros, mouse, pantallas táctiles, etc.

2.9. CONTROL DE CALIDAD MEDIANTE VISIÓN ARTIFICIAL

Calidad puede definirse como una combinación de características de ingeniería y de fabricación, que determina el grado de satisfacción y utilidad que el producto proporciona al consumidor durante su uso. A partir de esta definición se puede entender que el control de calidad es un factor fundamental para todos los sectores productivos y que, por ello, organizaciones internacionales de estándares, establecen conjuntos de normas para cada uno de los campos de la producción. (Zambrano, Parra, Manrique y Bustacara, 2007)

En el caso del sector de la metalurgia y la metalmecánica el control de calidad es fundamental para exportar hacia países industrializados cuyos requerimientos son más estrictos y aferrados a los estándares. Los parámetros principales que afectan el aseguramiento de la calidad en las industrias metalmeccánicas del país son costo de la tecnología de control de calidad, volúmenes de producción, tiempos de producción y mano de obra calificada.

2.9.1. Principales ventajas de la visión humana respecto a la artificial y viceversa:

- Sistema humano:
 - Mejor reconocimiento de objetos.
 - Mejor adaptación a situaciones imprevistas.
 - Utilización de conocimiento previo.
 - Mejor en tareas de alto nivel de proceso.

- Sistema artificial:
 - Mejor midiendo magnitudes físicas.
 - Mejor para la realización de tareas rutinarias.
 - Mejor en tareas de bajo nivel de proceso.

2.9.2. Etapas del Procesamiento Digital de Imágenes

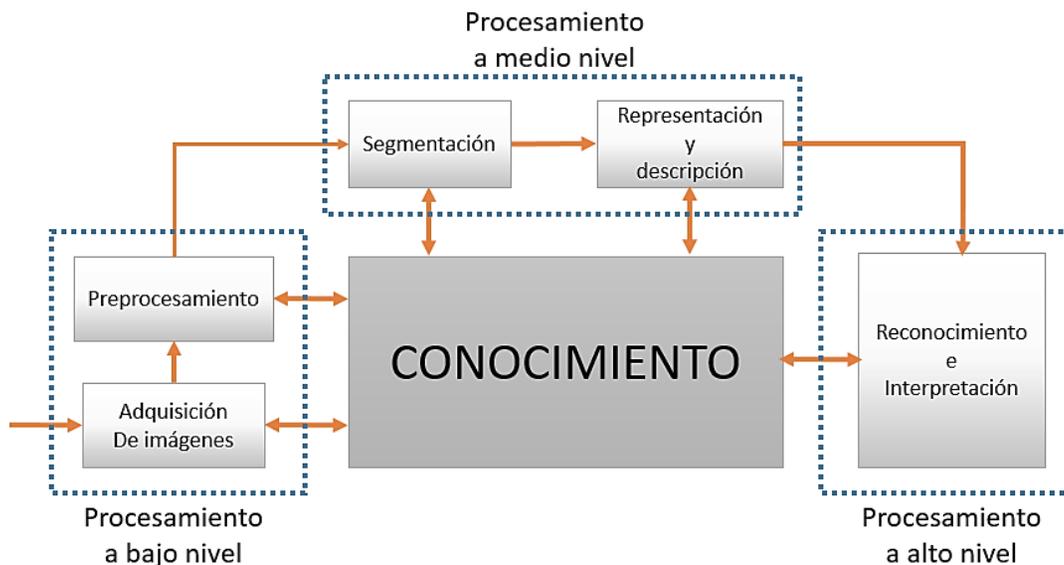


Figura 15. Proceso de visión artificial
Fuente: (Vélez, Moreno, Sánchez y Sánchez, 2003)

La primera etapa es la adquisición de imagen: Su objetivo es realzar, mediante técnicas fotográficas las características visuales de los objetos (Vélez, Moreno, Sánchez y Sánchez, 2003)

Al adquirir la imagen se pasará a la etapa de preprocesado: Su función es mejorar la calidad de la imagen, incluyendo operaciones de mejorar el contraste y realizando algunas características de la imagen, como bordes o áreas.

La siguiente etapa trata de la segmentación: Consiste en la partición de la imagen en áreas significativas. Existen varias técnicas:

- Umbralizaciones,
- Discontinuidades
- Crecimiento de regiones
- Uso del color o de movimiento

Una vez dividida la imagen en zonas con características de más alto nivel se pasará a su extracción de las características.

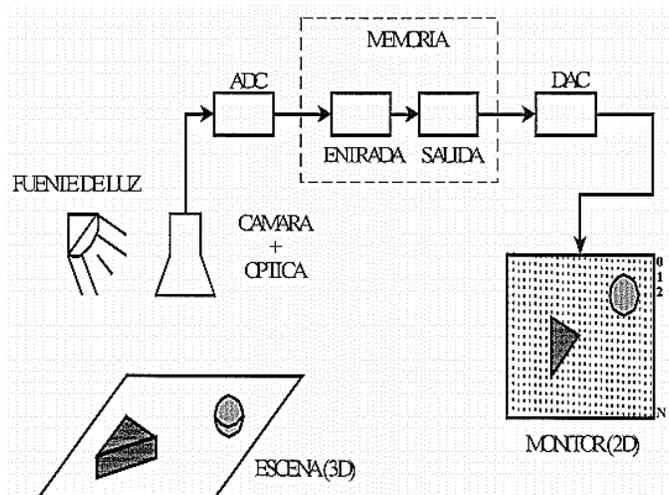


Figura 16. Representación esquemática de un S.V.A
Fuente: (Vélez, Moreno, Sánchez y Sánchez, 2003)

2.9.3. Aplicaciones de la visión artificial

Tabla 5

Aplicaciones de la visión artificial

Área de producción	Aplicación
Control de calidad	Inspección de productos (papel, aluminio, acero, etc)
	Identificación de piezas
	Etiquetados (fecha de caducidad)
	Inspección de circuitos impresos
	Control de calidad de los alimentos

2.10. SOFTWARE

2.10.1. Software para Programación de Automatas

a) TIA Portal

Es un software innovador que optimiza todos sus procedimientos de procesamiento, operación de máquinas y planificación. Con su intuitiva interfaz de usuario, la sencillez de sus funciones y la completa transparencia de datos es increíblemente fácil de utilizar. (INDUSTRIA SIEMENS, 2009). El TIA Portal permite interactuar con otros sistemas e intercambiar datos a través de interfaces abiertas.

- **VERSIONES QUE OFRECE EL SIMATIC STEP 7**

1. **STEP 7 Basic:** Ingeniería compartida por los controladores SIMATIC S7-1200 y los paneles de la Gama HMI Basic Panels.
2. **STEP 7 Professional:** Ingeniería para configurar y programar los controladores SIMATIC S7-1200, S7-300, S7-400, S7-1500 y WinAC.

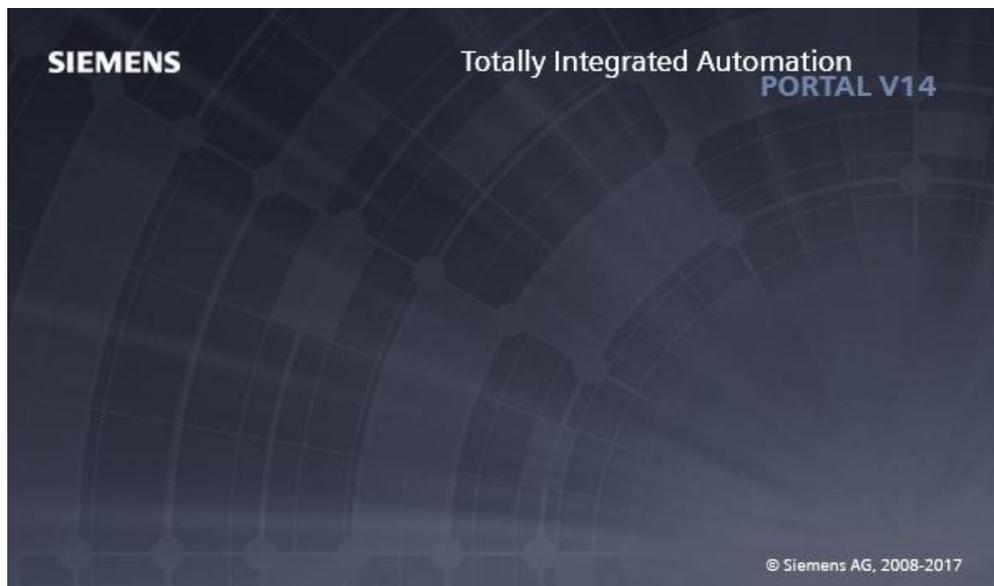


Figura 17. SOFTWARE TIA Portal

Fuente: (INDUSTRIA SIEMENS, 2009)

2.10.2. Software para Programación de Visión Artificial

a) LabVIEW

Es un entorno de desarrollo integrado y diseñado específicamente para ingenieros y científicos. Nativo de LabVIEW es un lenguaje de programación gráfica (G) que utiliza un modelo de flujo de datos en lugar de líneas secuenciales de código de texto, lo que le permite escribir código funcional utilizando un diseño visual que se asemeja a su proceso de pensamiento. Esto significa que usted emplea menos tiempo preocupándose por el por punto y coma y la sintaxis y más tiempo resolviendo los problemas que importan. (National Instruments Corporation, 2019).

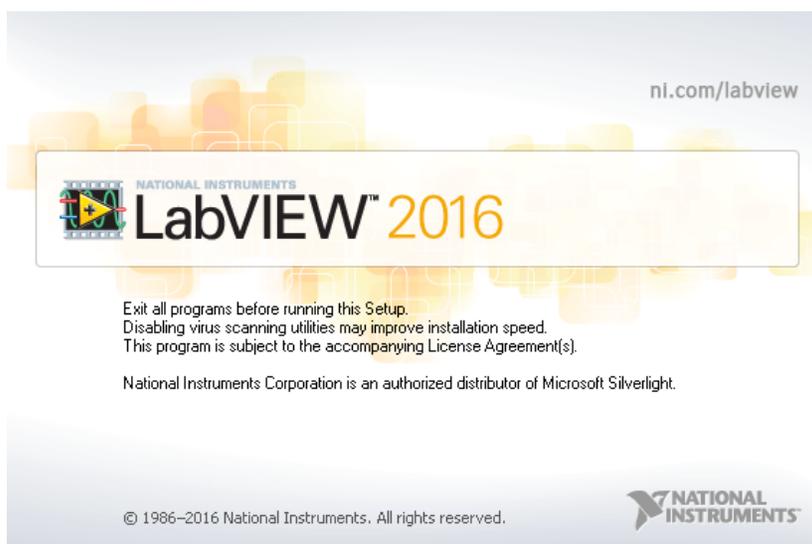


Figura 18. SOFTWARE LabVIEW 2016
Fuente: (National Instruments Corporation, 2019)

CAPÍTULO III

ANÁLISIS, DISEÑO Y SELECCIÓN DE DISPOSITIVOS EN BASE AL ESTUDIO DE LOS PARÁMETROS DE CORTE

3.1. INTRODUCCIÓN

La función de diseño desempeña el papel principal en definir la forma física del producto para que satisfaga mejor las necesidades del cliente. En este contexto, la función de diseño incluye crear el diseño de ingeniería (mecánico, eléctrico, software, etc.) y el diseño industrial (estético, ergonómico, interfaces de usuarios).

3.1.1. Diseño por Calidad

El sistema de corte al ser un proceso manual y repetitivo, conlleva a pérdidas de tiempo, baja calidad en sus productos a la empresa y peligros constantes para el operador, por lo cual la aplicación de técnicas de automatización y control de calidad con visión artificial mejora el proceso industrial disminuyendo tiempo de trabajo, incrementando y mejorando la producción.

Para el sistema se realizan consideraciones mecánicas para la readecuación de maquinaria dirigida a procesos específicos, utilizando dispositivos y equipos como sensores, PLC, HMI y cámaras que están destinadas al control de los procesos, la selección y el respectivo manejo y coordinación de las operaciones.

3.1.2. Casa de la Calidad

Casa de la Calidad o QFD es un método gráfico que tiene como objetivo diseñar y producir un producto que pudiera satisfacer o exceder las necesidades del cliente y traducirlo a soluciones técnicas de diseño, enlistando en una matriz las necesidades de los clientes QUES o “atributos” comparándolas con las “características de diseño” COMOS.

La QFD conlleva a:

- Requerimientos del cliente.

- Requerimientos Técnicos.
- Correlaciones entre requerimientos del cliente con los requerimientos técnicos.
- Clasificación de Importancia.
- Atributos Técnicos y Desarrollo de Objetivos.
- Evaluación Técnica.

3.1.3. Determinación de Parámetros

Los requerimientos de la máquina se basan en sugerencias realizadas por los operarios con años en la manufactura de hornos con las siguientes necesidades:

a) Voz del Usuario

- Funcionamiento de la máquina automático
- Inversión sea de bajo coste.
- Regulable (cortes, materiales y diámetros).
- Corte eficiente.
- Interfaz amigable con el operador.
- Operación intuitiva.
- Limpieza practicable.
- Salvaguarde la integridad del operador.
- Estructura con volumen limitado.

b) Voz del Ingeniero

- Nivel de Automatización.
- Selección de Materiales.
- Diseño Cinemático.
- Precisión de Corte.
- Interfaz Humano Máquina (HMI)
- Seguridad
- Diseño Ergonómico

- Tolerancias y Ajustes.

3.1.4. Conclusión Casa de la Calidad

Con los criterios técnicos solicitados por la empresa, se especifica las principales características del diseño y funcionamiento del sistema y la máquina.

- **Nivel de automatización:** En base a los requerimientos dados por la empresa se requiere un nivel de automatización III, de este modo la máquina optimizará el tiempo y la producción, donde únicamente un operario sea capaz de supervisar el correcto funcionamiento de todo el proceso.
- **Selección de Materiales:** Debido a las altas ventajas como material estructural, el acero es apto para la construcción de los elementos del sistema mecánico.
- **Diseño Cinemático:** Permite determinar la relación de posición, y velocidad de cada uno de los elementos que conforman el sistema mecánico en función de los parámetros ingresados por el operador.
- **Sistema Corte y Precisión de Corte:** Existen importantes factores a tener en cuenta dentro de las características de los diferentes tipos de materiales que se va a trabajar con una dureza $< 200\text{HB}$, además del tamaño, tipo de proceso de corte y posicionamiento para lo cual estos sistemas deben estar sincronizados para realizar una correcta operación.
- **Interfaz Humano Máquina (HMI):** Mediante el HMI el operario podrá tener el control y monitorización en todo el proceso, revelando la información operativa en tiempo real, con una utilidad adaptada a los requisitos y capacidades del operador.
- **Diseño Ergonómico:** Tiene como finalidad evitar los accidentes y patologías laborales, disminuir la fatiga física - mental, aumentar el nivel de satisfacción del trabajador, incrementar la productividad y disminuir los costes provocados por los errores, accidentes y bajas laborales. Donde el tamaño y forma del sistema depende principalmente de la distribución de

los elementos que forman parte del mismo, además garantizar el correcto funcionamiento del sistema.

- **Tolerancias y Ajustes:** Parte de la necesidad de imponer un análisis cuidadoso para la eliminación de problemas de ensamble ya que existen varios factores que afectan el resultado de lo que se desea obtener, como el calentamiento de la máquina, el desgaste de las herramientas y problemas en los materiales. Para ello es trascendental que se permitan variaciones en las dimensiones especificadas teniendo en cuenta que no se alteren los requerimientos funcionales que se desea satisfacer.

Los aspectos anteriormente descritos se hallan relacionados y son trascendentales para el óptimo funcionamiento de todo el sistema de corte de tuberías para hornos, por lo que es necesario realizar un análisis de cada uno de los elementos, su geometría y dimensiones a utilizarse, para obtener un diseño robusto y ergonómico a los requerimientos de la empresa.

3.2. DISEÑO CONCEPTUAL

3.2.1. Especificaciones para el Diseño

La necesidad de implementar un sistema de corte automatizado de tubos para hornos, pretende establecer una serie de requerimientos dados por la empresa “INDUSTRIA METÁLICA COTOPAXI IMC”, que deben satisfacer en el diseño que se llevara a cabo. Con la ayuda del análisis de la casa de la calidad se tiene definidas las metas cumplir.

El sistema debe ser capaz de realizar cortes para tuberías de hornos con diámetros de $\frac{3}{4}$, 1, $1\frac{1}{4}$ y $1\frac{1}{2}$, con una dureza de 25 HB hasta 200 HB, de una forma eficiente y rápida; donde la señalización y los cortes de los tubos para realizar la cañería es un proceso lento que requiere ser corregido para lo cual se dispone de una máquina de sierra, que mediante el diseño mecánico de adaptabilidad al proceso la parte estructural de la máquina contará con un sistema apropiado de alimentación y posicionamiento automático para el material, el cual se colocará y sujetará a la distancia requerida mientras se realiza el corte en forma automática.

La automatización se realizará mediante un autómata programable, una interfaz hombre-máquina (HMI) y demás equipos de automatización requeridos, donde la sierra puede adaptarse al proceso de semi-corte y corte completo, haciendo de esta manera que el proceso sea debidamente agilizado.

El panel de control con interfaz gráfica HMI, contará con la posibilidad de ingresar el número de semi-cortes en el rango de 25 a 35, así como la distancia entre cortes de 12mm, siempre y cuando exista material. Además de un control de calidad mediante visión artificial que se encargará de determinar el diámetro de la tubería, realizar la inspección del corte y la distancia entre los mismos.

Las pruebas de verificación que nos indicará si el producto final es factible para su uso, es el color de la llama de fuego en los hornos la cual varía de acuerdo a la profundidad de corte empleada.

3.2.2. Principio Básico de Funcionamiento

Descritas anteriormente todas las necesidades requeridas para el diseño del sistema de corte automático de tubos, a continuación, se presenta un diagrama de flujo Figura 20 en el cual se describe a detalle todo el funcionamiento del proceso; teniendo en cuenta los posibles errores que se puedan presentar dentro del sistema y la forma de operación según el tipo de material a cortar.

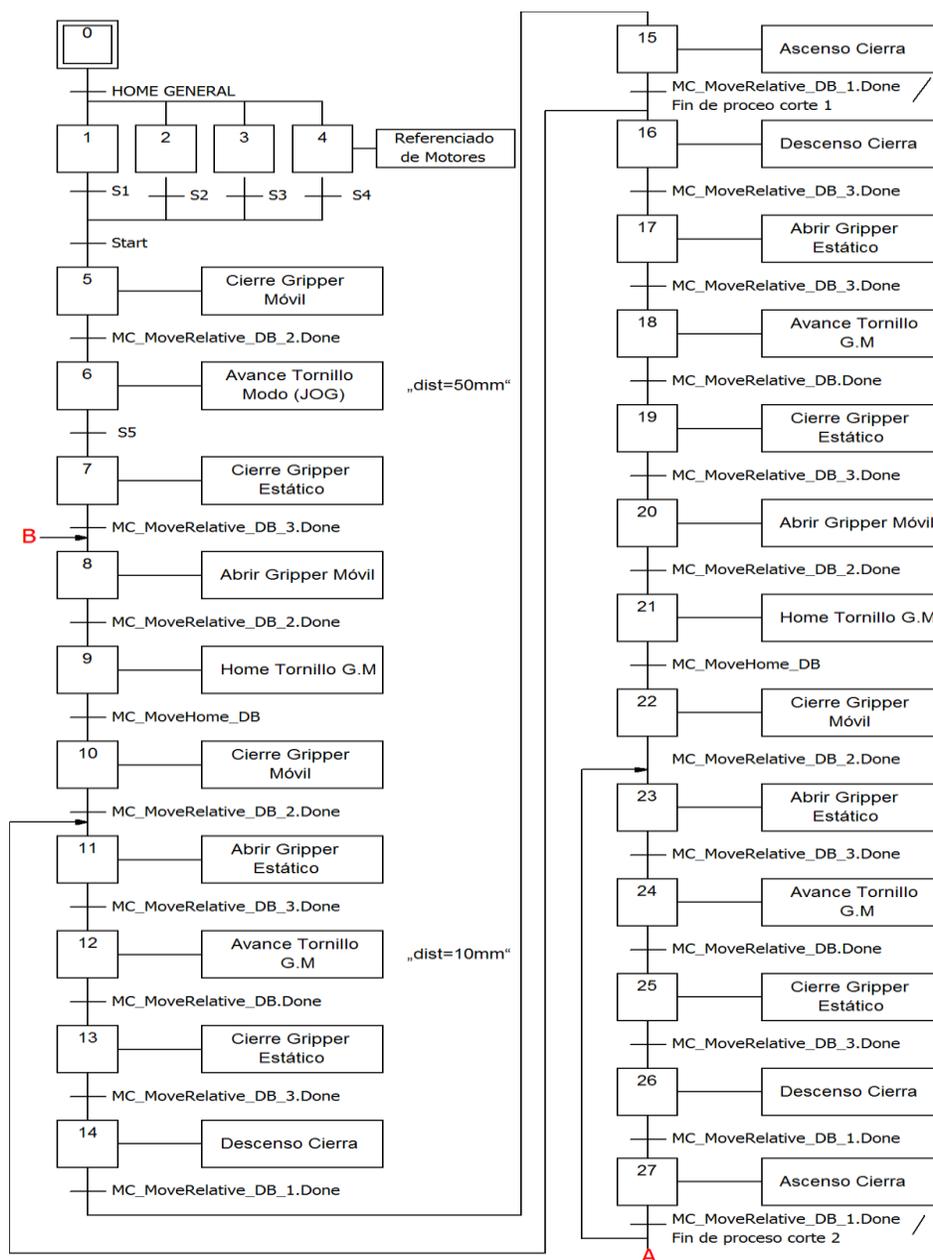


Figura 20. Diagrama de Flujo 1 del Proceso

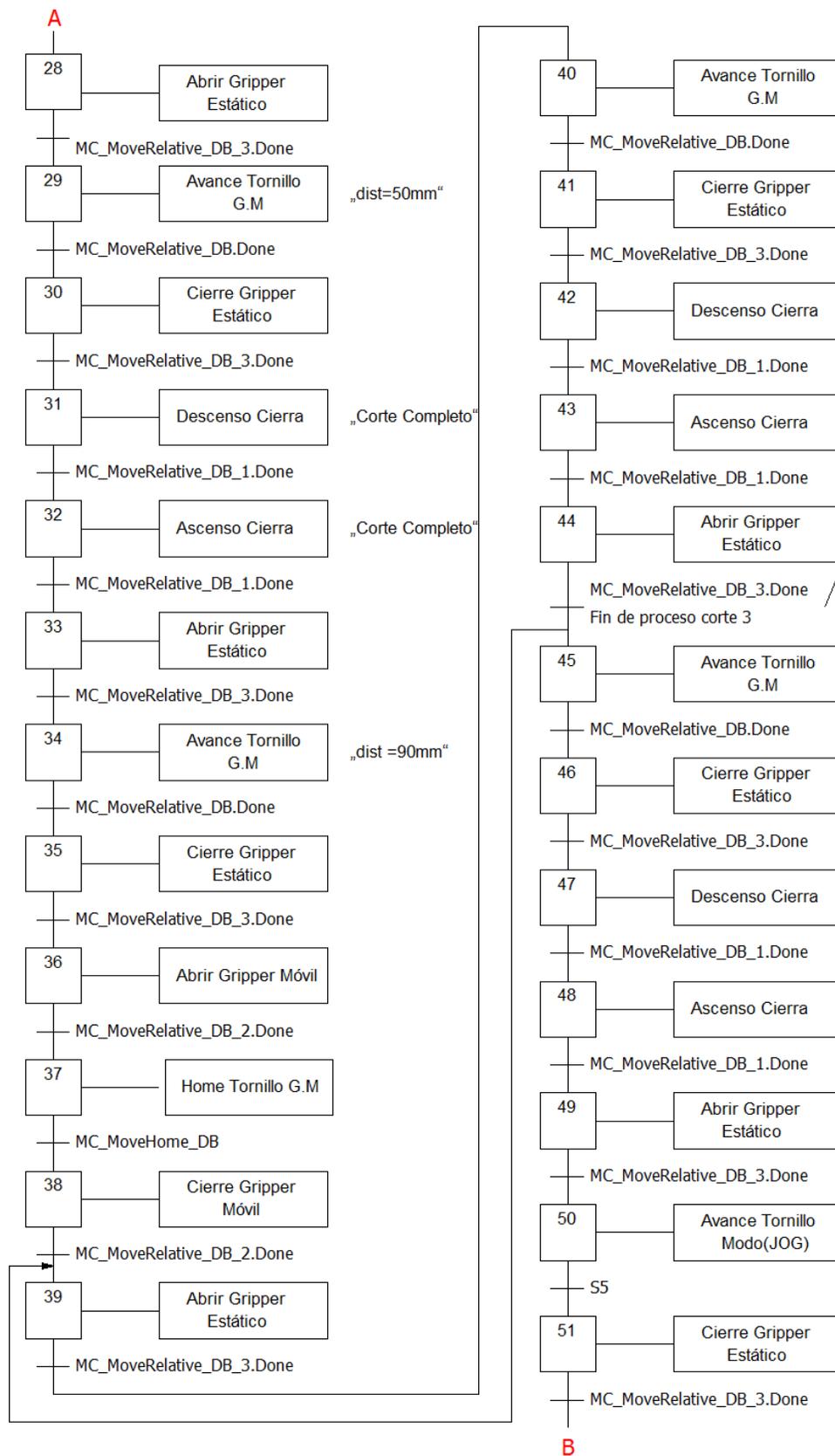


Figura 21. Diagrama de Flujo 2 del Proceso

3.2.3. Matriz Morfológica

Al tener especificadas las necesidades y las etapas de procesos que se llevaran a cabo, se procede a desarrollar un análisis por matriz morfológica, en la cual se va a puntualizar las posibles alternativas de cada elemento de las etapas que conforman el sistema de posicionamiento y corte. En las diferentes matrices se analizará las respectivas ventajas y desventajas de cada componente, que permitirá seleccionar la mejor alternativa y llegar a obtener un diseño eficiente y de calidad.

Tabla 6

Matriz morfológica de la estructura

Parte:	Material		
Alternativa	Acero ASTM A36	Aluminio 6061	Madera
Ventaja	Fácil de soldarse, ahorros en el aspecto económico, gran resistencia a la tensión y compresión, gran disponibilidad en el mercado, durabilidad, ductilidad	Soldable, ligero, alta resistencia a la corrosión y al desgaste, gran maquinabilidad,	Menor costo, menor tiempo de ejecución, aislante, renovable
Desventaja	Costo mantenimiento, susceptibilidad al pandeo	de Superficie irregular, costo. al	Tratamiento contra la humedad, mantenimiento periódico, no permite cambios de configuración

Tabla 7*Matriz morfológica del transportador mecánico.*

Parte:		Transportador Mecánico de Tubos		
Alternativa	Tornillo de Bolas	Cadena	Cremallera	
Ventaja	Alta eficiencia, posicionamiento preciso y repetibilidad de posición, mejor deslizamiento, capacidad de carga, bajo costo.	No existe deslizamiento, alta eficiencia, Transmisión de movimientos a varias rudas con una fuente de potencia	Transmisión suave y con precisión, transmite potencia elevada, fácil montaje, eficiencia mecánica.	
Desventaja	Requiere lubricación, inclusión de basura puede terminar con la vida del tornillo.	Elevado costo, Alto ruido y vibración, montaje complicado, mantenimiento minucioso, vida útil.	Necesita lubricación,	

Tabla 8*Matriz morfológica de la cinta de sierra*

Parte:		Cinta de Sierra	
Alternativa	Bimetálicas	Acero al Carbono	Carburo de Tungsteno

CONTINUA



Ventaja	Mayor resistencia (al calor, al desgaste y la fatiga), velocidad de operación alta, larga vida,	Vida más larga contra la fatiga, la resistencia al desgaste	Mayor resistencia al desgaste, mayor resistencia al calor, Corte liso, mejor penetración del diente, larga vida, cortes rectos, cortes más silenciosos.
Desventaja	Costo medio	Velocidad de operación baja, Costo bajo	Elevado costo, Corte agresivo

Tabla 9

Matriz morfológica de sistema ascenso y descenso de la sierra

Parte:	Sistema ascenso y descenso		
Alternativa	Tornillo de Bolas	Pistón Neumático	Pistón Hidráulico
Ventaja	Alta eficiencia, posicionamiento preciso y repetibilidad de posición, mejor deslizamiento, capacidad de carga, bajo costo.	Fácil implementación, alimentación económica, alta velocidad de reacción, limpieza	Gran fuerza de apriete, mayor eficiencia en el apriete, sin vibraciones.
Desventaja	Requiere lubricación, inclusión de basura puede terminar con la vida del tornillo.	Sistema ruidoso, Elevado costo	Elevado costo, mayor costo de mantenimiento, velocidad de reacción.

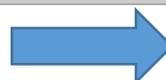
Tabla 10*Matriz morfológica de la interfaz con el operador*

Parte:	Medio de Interfaz Humano-Máquina		
Alternativa	Tablero de Control	Touch Panel	PC
Ventaja	Fácil y bajo costo de instalación.	Amigable con el usuario, fácil instalación, fácil programación, disminución de periféricos de entradas, tamaño reducido, grado de protección IP alto,	Bajo costo, flexibilidad, variedad de software, versatilidad.
Desventaja	Costo elevado dependiente del tamaño, Mantenimiento periódico, No versátil.	Elevado costo, frágil, requiere mano de obra capacitada.	Aislamiento y protección regular, requiere espacio físico, frágil.

Tabla 11*Matriz morfológica de los motores de los sistemas mecánicos*

Parte:	Sistemas Mecánicos		
Alternativa	Motorreductor	Motor a Pasos	Servomotor
Ventaja	Alto torque, Posee caja reductora, Sincronización entre velocidad y	Estable, Fácil de controlar, Sistema de posicionamiento de bajo costo, Exactitud en la	Alta precisión, alto torque, varios modos de control, tamaño pequeño,

CONTINUA



	potencia, Fácil instalación.	Fácil posición y repetición de movimientos.	Bajo consumo de energía
Desventaja	Elevado costo, Alto ruido, Requiere de variador de control velocidad	Elevado consumo de energía, Baja eficiencia, de Potencia, Alto ruido	Elevado costo, limitación de giro, difícil control de velocidad.

Tabla 12

Matriz morfológica del sistema de verificación de presencia de material

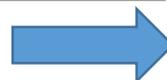
Parte:	Sensores	
Alternativa	Ópticos	Capacitivos
Ventaja	Bajo costo, tecnología bien establecida, Integración en sistemas complejos, Amplio alcance	Bajo costo, detección (metales, no metales, líquidos y sólidos), Larga vida, Gran variedad de tipos de montajes.
Desventaja	No apto para objetos completamente transparentes, sensibles al ambiente (humedad), Conexiones independientes emisor-receptor.	Falla a largas distancias, sensible al ambiente (humedad) o tipo de material

Tabla 13

Matriz morfológica del Controlador

Parte:	Controlador	
Alternativa	CPU	PLC

CONTINUA



Ventaja	Bajo costo, Programación fácil, Velocidad de elevada velocidad operación alta, fácil instalación, control y de procesamiento, programación de ciclos de trabajo, accesibilidad compacto, flexible.
Desventaja	Susceptible a Mano de obra especializada, costo colgarse, robustes, elevado, El proceso depende del código delicado. de la programación, Memoria reducida.

Tabla 14*Matriz morfológica control de calidad*

Parte:	Control de Calidad	
Alternativa	Visión Artificial	Inspección Humana
Ventaja	Gran precisión en el proceso, elimina el error humano, costo de tiempo, verificación objetiva y constante, verificación de lugares inaccesible, detección de defectos, detección de cuerpos extraños, alta velocidad de procesado, medición sin contacto, realización histórica de imágenes.	Puede detectar y ayuda en la eliminación de discontinuidades que podrían convertirse en defectos, Costo de inspección más bajo.
Desventaja	Elevado costo de instalación del sistema, permite ver solo errores superficiales del producto.	Falta de atención, errores visuales, absentismo laboral, precisión, experiencia y conocimiento.

Una vez concluido el análisis de las mejores alternativas en las matrices morfológicas se seleccionan a los elementos más adecuados para cumplir con los requerimientos de nuestro diseño.

3.2.4. Matriz De Evaluación

Mediante la matriz de evaluación (Tabla 15) se realiza un análisis de requerimientos, a cada una de las alternativas de las matrices morfológicas que contara con ponderaciones respectivas y así obteniendo la selección más idónea.

Los criterios a evaluar son:

- Costo (Cos)
- Velocidad (Vel)
- Durabilidad (Dur)
- Seguridad (Seg)
- Funcionalidad (Fun)
- Mantenimiento (Mant)
- Manufacturabilidad (Manf)
- Tamaño (Tam)

Tabla 15
Matriz de evaluación

Parte	Alternativa	Criterios de evaluación							Total
		Cos (1.5)	Dur (1.5)	Seg (1.5)	Fun (1.5)	Mant (1)	Manf (1)	Tam (1)	
Material	Acero ASTM A36	1	1,5	1,5	1,4	0,8	0,9	1	8,1
	Aluminio 6061	1	1,5	1,4	1,4	0,9	0,9	0,7	7,8
	Madera	1.5	0.8	0,7	1,2	0,5	1	0,5	6,2

CONTINUA



Transportador mecánico de tubos	Tonillo de Bolas	1,3	1,3	1,3	1,4	0,9	0,8	0,8	7,8
	Cadena	1,1	0,9	1,3	1,3	0,7	0,8	0,8	6,9
	Cremallera	1,1	0,9	1,1	1,1	0,9	0,8	0,8	6,7
Cinta de Sierra	Bimetálicas	1,3	1,3	1,4	1,3	1	0,9	1	8,2
	Acero al Carbono	1,2	1,1	1,2	1,1	0,8	0,8	1	7,2
	Carburo de tungsteno	1,3	1,2	1,2	1,2	0,8	0,9	1	7,6
Sistema ascenso y descenso de la Sierra	Tonillo de Bolas	1,5	1,2	1,3	1,5	0,9	0,8	0,8	8
	Neumáticas	1	1,2	1,3	1,5	0,9	0,8	0,8	7,5
	Hidráulicas	1	1,4	1,4	1,5	0,7	0,8	1	7
Interfaz con el operador	Tablero de Control	1,2	1,3	1	1	0,7	0,9	0,5	6,6
	Touch Panel	1	1	1,3	1,4	1	1	1	7,7
	PC	0,9	1	1,3	1,4	1	0,8	0,7	7,1
Alimentador de tubos	Motorreductor	1,4	1	1	1	0,8	0,6	1	6,8
	Motor a Pasos	1,2	1,3	1,4	1,3	0,9	0,8	0,8	7,7
	Servomotor	1	1,2	1,3	1,2	0,9	0,8	0,9	7,3
Sensor	Ópticos	1,3	1,2	1,3	1,4	0,8	0,9	0,9	7,8
	Capacitivos	1,2	1	1	1,2	0,8	0,9	0,9	7

CONTINUA



Controlador	CPU	1,3	1	1	1,2	0,9	1	0,7	7,1
	PLC	0,8	1,3	1,3	1,4	0,7	0,8	1	7,3
Control de Calidad	Visión Artificial	1,5	1,4	1,3	1,4	0,9	0,9	0,9	8,3
	Inspección Humana	1,2	0,9	0,5	0,7	1	0,4	0,5	5,2

Concluido el análisis de los diferentes elementos y materiales de cada una de las matrices morfológicas se da a conocer la mejor alternativa de cada matriz en base a los criterios de evaluación ya establecidos, siendo las alternativas con mayor valor y enmarcadas las que cumplen con los requerimientos para nuestro diseño.

3.3. DISEÑO DEL SISTEMA MECÁNICO

Los sistemas mecánicos son sistemas compuestos principalmente por componentes, dispositivos o elementos que permiten transformar o transmitir el movimiento por acción o efecto de una fuerza.

3.3.1. Selección de Materiales

Para la construcción de cada uno de los componentes se ha tomado en cuenta las mejores alternativas, debido a sus grandes ventajas con respecto a otros materiales, para lo cual en la tabla 16 se detalla un resumen de los materiales adecuados a usarse para cada uno de los componentes a elaborarse.

Tabla 16
Material para la construcción de los componentes

COMPONENTES	MATERIAL
Gripper	Acero Inoxidable AISI - 316L
Soportes del Gripper	Acero Inoxidable AISI - 316L
Riel Guía Circular	Acero Inoxidable AISI - 304
Tornillo de Potencia	Acero AISI - 1020
Mesa	Acero ASTM - A36
Caballote	Acero ASTM - A36
Rodillos	Acero ASTM – A500

3.3.2. Diseño del Mecanismo Gripper

El Acero Inoxidable AISI - 316L es el material apropiado para la construcción del gripper por poseer una alta vida de servicio, reciclable, fácil mantenimiento, apariencia estética y una mejor resistencia a la corrosión a diferencia de otros aceros.

El sistema contará con 2 grippers, cada gripper contara con un tornillo de potencia que da la fuerza para el apriete al mecanismo; siendo el gripper 1 el encargado de realizar el posicionamiento (sujeción y traslado) del tubo mientras que el gripper 2 encargado de atribuir seguridad de sujeción para posteriormente dar paso a la etapa de corte.

Seleccionamos como referencia para los cálculos al tubo de $1\frac{1}{2}$ plg por ser el más idóneo en masa con respecto a las tuberías de $\frac{3}{4}$, 1, $1\frac{1}{4}$ plg, teniendo en cuenta el diámetro de tubería, material seleccionado y las etapas de trabajo se realiza el cálculo de las siguientes ecuaciones:

a) Fuerza de Apriete del Gripper.

La obtención de la fuerza de apriete del gripper se basa en un respectivo análisis de fuerzas de los puntos de contacto entre el gripper con respecto al elemento a trasladar. El gripper contara con dos garras para la sujeción del tubo $1\frac{1}{2}plg$ que tiene una masa de 11.34 kg y un coeficiente de fricción de 0.4 entre superficies, estos valores serán sustituidos en la ecuación (1) obtenida.

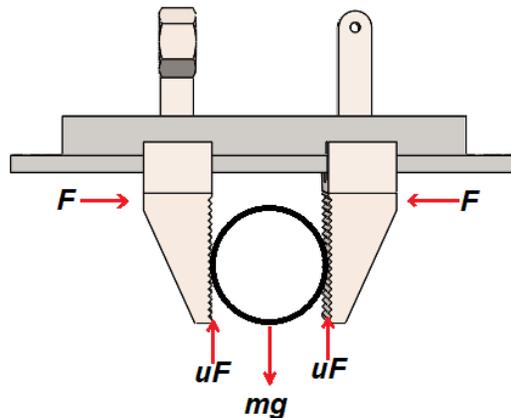


Figura 22. DCL del Gripper

$$F_g = \frac{m_t * g}{n_g * \mu}$$

Ec. 1

Donde:

F_g : Fuerza de apriete del gripper [N]

m_t : Masa del tubo [kg]

g : gravedad $\left[\frac{m}{s^2}\right]$

n_g : Número de Garras o dedos

μ : Coeficiente de fricción entre pinzas y tubo

$$F_g = \frac{11.34 \text{ kg} * 9.8 \frac{m}{s^2}}{2 * 0.4}$$

$$F_g = 138.915 \text{ N}$$

Como el sistema cuenta con un tornillo de potencia para realizar el apriete, su análisis respectivo se lo realiza más adelante y con ello la selección del motor a utilizar.

3.3.3. Diseño de Soportes del Gripper

El material seleccionado para los soportes del gripper es el Acero Inoxidable AISI - 316L porque posee excelente resistencia a la corrosión, facilidad de soldadura la cual es muy importante en este caso ya que los soportes se encuentran soldados en la parte superior para dar seguridad a la sujeción del gripper y por último tiene una resistencia parecida a la del acero siendo un material más liviano, reduciendo el peso aplicado en los rodamientos lineales.

Se modeló la estructura a través del software CAD, permitiendo obtener la masa total exacta del mecanismo gripper que es de 288.40 gramos como se puede observar en la Figura 22.

Propiedades de masa de ensamble gripper		
Configuración: Predeterminado		
Sistema de coordenadas: -- predeterminado --		
Masa = 287.02 gramos		
Volumen = 36331.27 milímetros cúbicos		
Área de superficie = 29910.64 milímetros cuadrados		
Centro de masa: (milímetros)		
X = -1.07		
Y = -21.53		
Z = 133.65		
Ejes principales de inercia y momentos principales de inercia: (gramos * milímetro ²)		
Medido desde el centro de masa.		
Ix = (1.00, 0.00, 0.00)	Px = 125871.33	
Iy = (0.00, 1.00, -0.08)	Py = 391938.95	
Iz = (0.00, 0.08, 1.00)	Pz = 495015.40	
Momentos de inercia: (gramos * milímetros cuadrados)		
Obtenidos en el centro de masa y alineados con el sistema de coordenadas de		
Lxx = 125871.34	Lxy = 64.41	Lxz = -8.51
Lyx = 64.41	Ly y = 392573.49	Lyz = -8062.59
Lzx = -8.51	Lzy = -8062.59	Lzz = 494380.84
Momentos de inercia: (gramos * milímetros cuadrados)		
Medido desde el sistema de coordenadas de salida.		
lxx = 5385344.43	lxy = 6676.54	lxz = -41057.08
lyx = 6676.54	lyy = 5519359.36	lyz = -833835.17
lzx = -41057.08	lzy = -833835.17	lzz = 627725.43

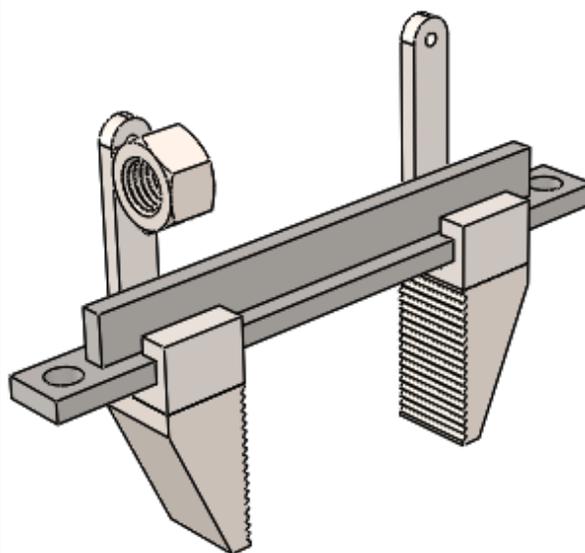


Figura 23. Mecanismo del Gripper

Se seleccionó por criterio propio un motor Nema 23 que tiene una masa de 457 gramos para obtener la masa total que resistir el soporte del gripper se realiza la sumatoria de la masa del mecanismo gripper, la masa del motor nema23 y la masa del tubo de 6 metros que es de 25 libras equivalente a 11339.8gr

$$m = (m_g + m_m + m_t)$$

Donde:

m_g : Masa del gripper [gr]

m_m : Masa del motor nema23 [gr]

m_t : Masa del tubo [gr]

$$m = (287.02 + 457 + 11339.8)gr$$

$$m = 12.08 Kg$$

Se obtiene una masa total de 12.08 Kg y se procede a calcular su peso total que va a resistir los soportes del gripper mediante la ecuación (4).

$$F = m * g$$

Ec. 2

Donde:

F : Peso total del soporte gripper [N]

m : Masa total [kg]

g : Gravedad $\left[\frac{m}{s^2}\right]$

$$F = 12.08 Kg * 9.8 \frac{m}{s^2}$$

$$F = 118.421N$$

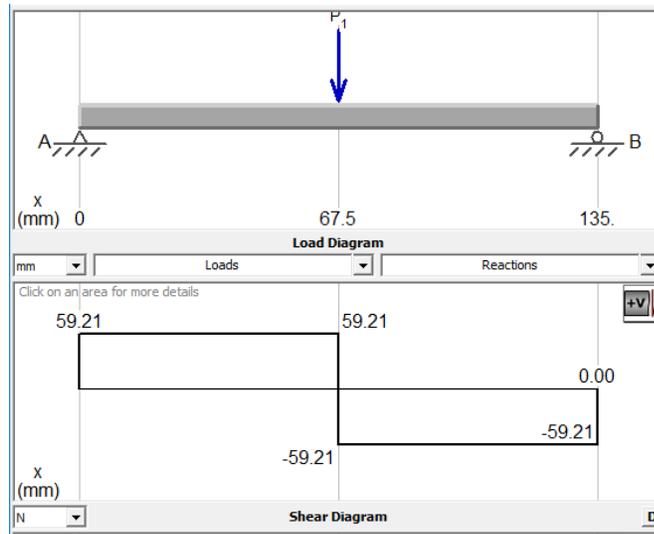


Figura 24. DLC de la base del mecanismo gripper

El diagrama de cuerpo libre de la base del mecanismo gripper permite determinar la carga que soportara el extremo de 0.013m de cada soporte del gripper, esta carga se comportara como una carga distribuida.

w : Carga uniformemente distribuida $\left[\frac{N}{m}\right]$

$$w = 59.21 \left[\frac{N}{m}\right]$$

Mediante la ecuación (3) se procede a calcular la carga total que será aplicada a los soportes del mecanismo gripper

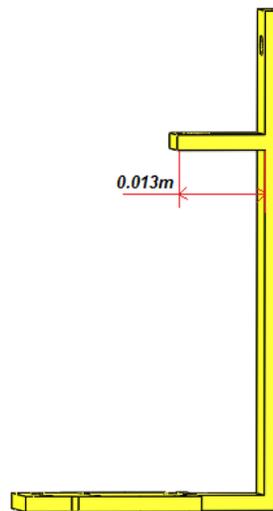


Figura 25. Soporte del Gripper

$$W = w * L$$

Ec. 3

Donde:

L : Longitud del primer elemento [m]

W : Carga total [N]

$$W = 59.21 \left[\frac{N}{m} \right] * 0.013[m]$$

$$W = 0.7697 N$$

Como se observa en la Figura 24, en el extremo superior del soporte se ubicará la base del mecanismo gripper y el extremo inferior estará sujeto a un rodamiento lineal que posteriormente será analizado.

Teniendo en cuenta la carga que será sometido al soporte gripper, se considera realizar el análisis como dos miembros estructurales independientes para su validación.

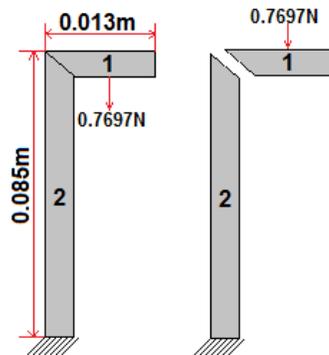


Figura 26. Elementos independientes del soporte del gripper

En la Figura 25 se puede observar el comportamiento de los dos elementos que conforman el soporte, el primer elemento se analiza como una viga en voladizo ya que tiene un solo apoyo fijo. El segundo elemento se analiza como una viga empotrada en la parte inferior y así determinar las cargas permisibles que pueda soportar, garantizando que el diseño es seguro.

a) Análisis del primer elemento del soporte

A continuación en la Figura 26 se representa el diagrama de cuerpo libre del miembro estructural 1, el cual es analizado como una viga en voladizo.

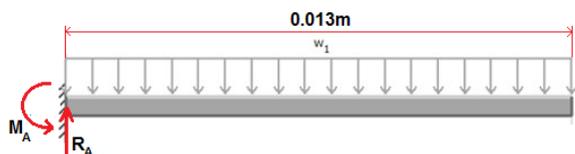


Figura 27. DCL del primer apoyo del soporte

Mediante el uso del software MDSolids se procede a realizar al cálculo de las reacciones y momentos que genera la fuerza distribuida aplicada al primer elemento ya que esta se encuentra soldada (ver figura 10).

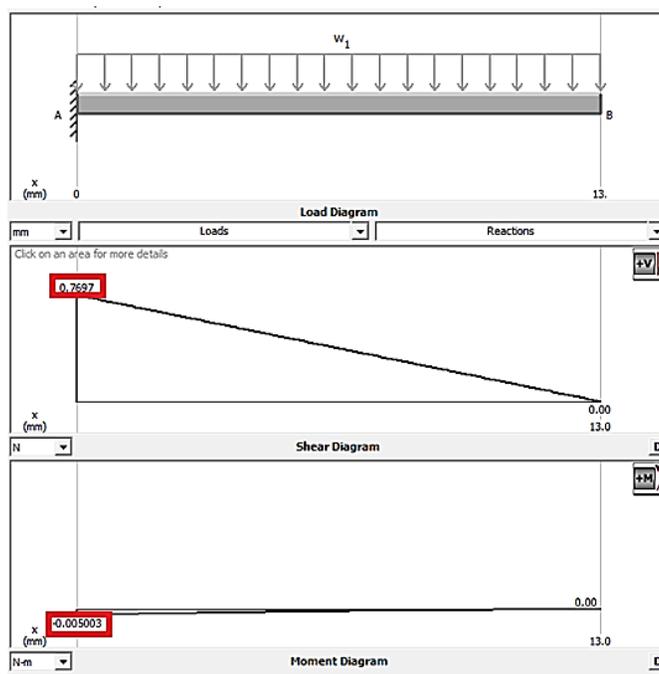


Figura 28. Diagrama de fuerza cortante y momento flector máximo del primer apoyo del soporte

- Valores obtenidos mediante el software MDSolids

$$R_A = 0.1367 \text{ N}$$

$$M = 0.002058 \text{ Nm}$$

Mediante la ecuación (4) se calcula el esfuerzo de diseño a través de la resistencia a la cedencia del aluminio (276 MPa) y el factor de diseño, siendo 3 es un factor de diseño de uso general en maquinaria (Ver Tabla 17), cuyo análisis parte de una estructura estática o elementos de máquina que se encuentra expuesta a cargas repetidas según Robert L. Mott.

$$\sigma_d = \frac{S_y}{N_{fs}} \quad \text{Ec. 4}$$

Tabla 17
Factor de diseño para materiales dúctiles

Descripción	Factor de Diseño
Diseño de estructuras bajo cargas estáticas	1.25 – 2.0
Diseño de elementos de máquinas bajo cargas dinámicas	2.0 – 2.5
Diseño de estructuras estáticas o elementos de maquina bajo cargas dinámicas	2.5 - 4.0

Fuente: (Mott R. L., 2006)

Se procede a realizar el cálculo del esfuerzo de diseño del material empleando la ecuación

Donde:

S_y : Resistencia a la cedencia del Aluminio 6061 – T6 [MPa]

N_{fs} : Factor de diseño

$$\sigma_d = \frac{276 \text{ MPa}}{3}$$

$$\sigma_d = 92 \text{ MPa}$$

Seguidamente se calcula el módulo de sección para nuestro sistema es de sección rectangular donde la base es igual a 0.003 metros y la altura 0.015 metros, usando la ecuación (7).

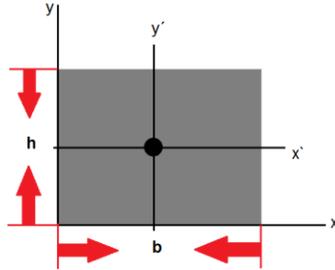


Figura 29. Sección Rectangular del soporte

$$S = \frac{b * h^2}{6}$$

Ec. 5

Donde:

b: Base de nuestra sección rectangular seleccionada [m]

h: Altura de nuestra sección rectangular seleccionada [m]

$$S = \frac{(0.003m) * (0.015m)^2}{6}$$

$$S = 1.125 \times 10^{-7} m^3$$

Teniendo el valor del módulo de sección se procede al cálculo del esfuerzo máximo del soporte del gripper con la ecuación 6.

$$\sigma_{\max} = \frac{M}{S}$$

Ec. 6

$$\sigma_{\max} = \frac{0.002058 Nm}{1.125 \times 10^{-7} m^3}$$

$$\sigma_{\max} = 18293.33 Pa$$

Posteriormente se realiza la siguiente comprobación, el esfuerzo de diseño debe ser mayor o igual al esfuerzo máximo, siendo la respuesta verdadera se garantiza que el diseño es seguro.

$$\sigma_d \geq \sigma_{\max}$$

$$92\text{MPa} \geq 0.018293\text{MPa}$$

b) Análisis del segundo elemento del soporte

Para el segundo elemento se realiza un análisis estructural juntamente con las fuerzas y reacciones generadas en el primer elemento. En la figura 12 se observa el diagrama de cuerpo libre del componente, así como también las reacciones y apoyos que actúan en el mismo.

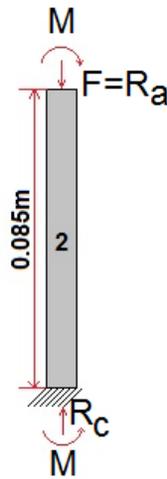


Figura 30. DCL del segundo apoyo del soporte

$$R_A = R_C$$

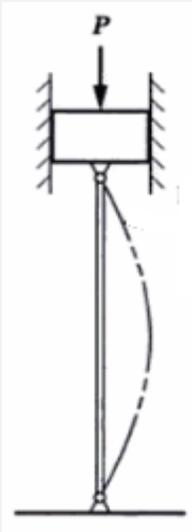
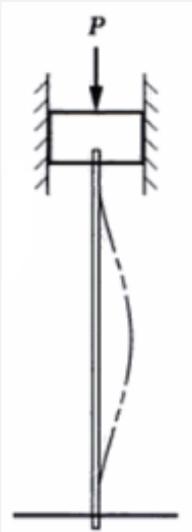
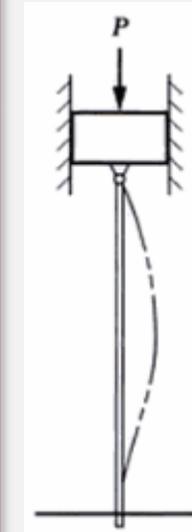
$$R_C = 0.1367 \text{ N}$$

Para el análisis del segundo elemento se lo analiza como una columna empotrada en un extremo, donde es necesario calcular la carga máxima que puede soportar el elemento antes de pandearse y la carga permisible del mismo al utilizar el material seleccionado.

Mediante la tabla 6 se determina el factor de fijación para los diferentes tipos de sujeción de columnas.

Tabla 18

Factor de fijación para tipos de sujeción de columnas

Tipos de sujeción	Articulada-Articulada	Empotrada-Empotrada	Empotrada-Libre	Empotrada-Articulada
Valores Teóricos	K=1.0	K=0.5	K=2.0	K=0.7
Valores Prácticos	K=1.0	K=0.65	K=2.10	K=0.8
				

Fuente: (Mott R. L., 2006)

Se realiza un análisis para columnas fijas en un extremo y el otro libre cuyo factor K será de 2.10 el cual es un valor práctico que mediante la ecuación (7) se determina la longitud efectiva de la columna.

$$L_e = K * L$$

Ec. 7

Donde:

L_e : Longitud Efectiva

K : Valor Practico seleccionado

L : Longitud de segundo elemento [m]

$$L_e = 2.10 * 0.085m$$

$$L_e = 0.1785m$$

Posteriormente se procede realizar el cálculo del radio de giro empleado en el diseño de miembros estructurales solicitados por compresión, encargándose de medir la distribución del área desde un eje específico.

$$r_{\text{giro}} = \sqrt{\frac{I}{A}} \quad \text{Ec. 8}$$

Donde:

I : Momento de inercia de la sección rectangular [m^4]

A : Área de la sección rectangular [m]

Para el cálculo del área y el momento de inercia de la sección rectangular se tendrá en cuenta los datos utilizados para determinar el módulo de sección en la ecuación (10).

$$A = b * h \quad \text{Ec. 9}$$

$$A = 0.003m * 0.015m$$

$$A = 0.0000449 m^2$$

$$I = \frac{b * h^3}{12} \quad \text{Ec. 10}$$

$$I = \frac{(0.003m) * (0.015m)^3}{12}$$

$$I = 8.437 \times 10^{-10} m^4$$

En base a los valores obtenidos del área y momento de inercia se procede a determinar el radio de giro de la sección rectangular:

$$r_{\text{giro}} = \sqrt{\frac{8.437 \times 10^{-10} m^4}{0.0000449 m^2}}$$

$$r_{\text{giro}} = 0.00433m$$

Seguidamente con la ecuación 11 se procede a calcular la relación de esbeltez que nos permitirá definir el comportamiento que tendrá la columna, donde la longitud y el radio de giro son datos esenciales para el cálculo.

$$SR = \frac{L_e}{r_{\text{giro}}} \quad \text{Ec. 11}$$

Donde:

SR : Relación de esbeltez

r_{giro} : Radio de giro [m]

$$SR = \frac{0.1785m}{0.00433m}$$

$$SR = 41.22$$

Obtenido el valor de la Relación de Esbeltez se procede a calcular la constante de columna para el Aluminio 6061 T6 que tiene un módulo de elasticidad de 69GPa y una resistencia a la fluencia de 276 MPa mediante la ecuación (12).

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{S_y}} \quad \text{Ec. 12}$$

Donde:

C_c : Constante de columna

E : Módulo de elasticidad del Aluminio 6061 T6 [Pa]

S_y : Resistencia a la fluencia del Aluminio 6061 T6 [Pa]

$$C_c = \sqrt{\frac{2 * \pi^2 * (69GPa)}{276 MPa}}$$

$$C_c = 70.248$$

Al conocer los valores de la relación de esbeltez y la constante de columna se realiza la siguiente comparación:

- $SR < C_c \rightarrow$ Columna Corta
- $SR > C_c \rightarrow$ Columna Larga

$$SR < C_c$$

$$41.22 < 70.248$$

Realizada la comparación se establece una columna corta para la cual se recurre a la fórmula de J. B. Johansson para determinar la carga crítica que soportara la columna mediante la ecuación (13).

$$P_{cr} = A * S_y * \left(1 - \frac{S_y * \left(\frac{k * L_2}{r_{giro}} \right)^2}{4 * \pi^2 * E_{aluminio}} \right) \quad \text{Ec. 13}$$

Donde:

P_{cr} : Carga crítica [N]

$$P_{cr} = 0.0000449 \text{ m}^2 * 276 \text{ MPa} * \left(1 - \frac{276 \text{ MPa} * \left(\frac{2.1 * 0.085 \text{ m}}{0.00433 \text{ m}} \right)^2}{4 * \pi^2 * 69 \text{ GPa}} \right)$$

$$P_{cr} = 10281.6 \text{ N}$$

La carga crítica representa la carga máxima que puede soportar el elemento antes de pandearse, pero se necesita calcular el valor de la carga permisible; siendo la carga máxima con la que se diseña los elementos estructurales que actúan como columna empleado el factor de seguridad de 3 en la ecuación (14).

$$P_a = \frac{P_{cr}}{3} \quad \text{Ec. 14}$$

$$P_a = 3427.19 \text{ N}$$

El diseño total de los soportes del gripper es más seguro con la selección del perfil rectangular seleccionada de (15 x 3) mm en aluminio, por lo que se puede proceder a la construcción soporte de acuerdo a la Figura 30 que muestra el diseño CAD con sus componentes a soportar.

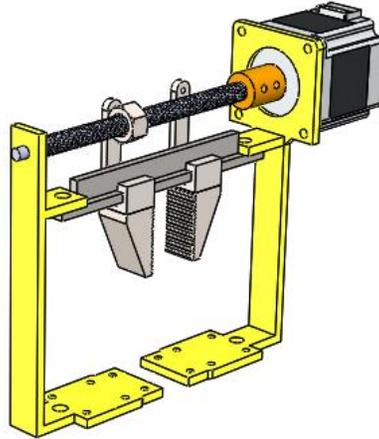


Figura 31. Ensamble de los soportes del mecanismo-gripper

3.3.4. Diseño de la Riel Guía Circular

Para el diseño de la riel guía circular el material adecuado para el trabajo a realizar es el acero inoxidable AISI – 304, ya que es el más resistente a diferencia de otros aceros inoxidables; además permite soportar grandes cargas y es el más utilizado en las industrias por tener ventajas como excelente resistencia a la corrosión, versatilidad, soldabilidad y su disponibilidad en el mercado es inmediata.

En la figura 32 se puede observar el diagrama de cuerpo libre de la riel guía circular que se encuentran fijo a la mesa y es analizado como una viga empotrada a sus dos extremos tolerando una carga puntual, por lo que se procede a calcular los valor de las reacciones y su momento flector máximo.

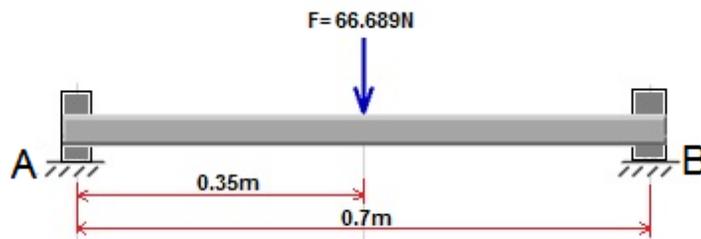


Figura 32. DCL de la riel guía circular

Para determinar la masa total que toleraran las rieles guías circular hay que tener presente la masa a la que estarán sometidos los soportes gripper y la masa de los mismo

dando como resultado una masa de 13.61 kg la cual está sobredimensionada para obtener mayor seguridad y no exista fallo por sobrecarga.

Para el cálculo del peso que actúa en las rieles guía empleamos la ecuación (2).

$$F = 13.61 \text{ kg} * 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$F = 133.378 \text{ N}$$

Dando como resultado un peso total de 133.378 N, para lo cual distribuimos el peso a cada riel guía dando como resultado un peso de 66.689N.

$$F_S = \frac{F}{2}$$

$$F_S = 66.689 \text{ N}$$

Donde:

$F_S = \text{Fuerza aplicada a cada soporte [N]}$

$R_A: \text{Reacción en el punto A [N]}$

$R_C: \text{Reacción en el punto B [N]}$

$$R_A = \frac{F_S}{2}$$

$$R_A = \frac{66.689 \text{ N}}{2}$$

$$R_A = 33.345 \text{ N}$$

Siendo:

$$R_A = R_C$$

$$R_C = 33.345 \text{ N}$$

Posteriormente se realiza el análisis del momento flector máximo de cada riel guía circular con una longitud de 0.7 metros mediante la ecuación (15).

Donde:

M_{max} : Momento flector máximo [Nm]

L : Longitud de la riel guía circular [m]

$$M_{max} = \frac{F_S * L}{8}$$

Ec. 15

$$M_{max} = \frac{33.345 \text{ N} * 0.7 \text{ m}}{8}$$

$$M_{max} = 5.835 \text{ Nm}$$

Mediante el uso del software MDSolids se comprueban los valores calculados, permitiendo visualizar los diagramas correspondientes al análisis de fuerza cortante y momento flector máximo en la figura (15)

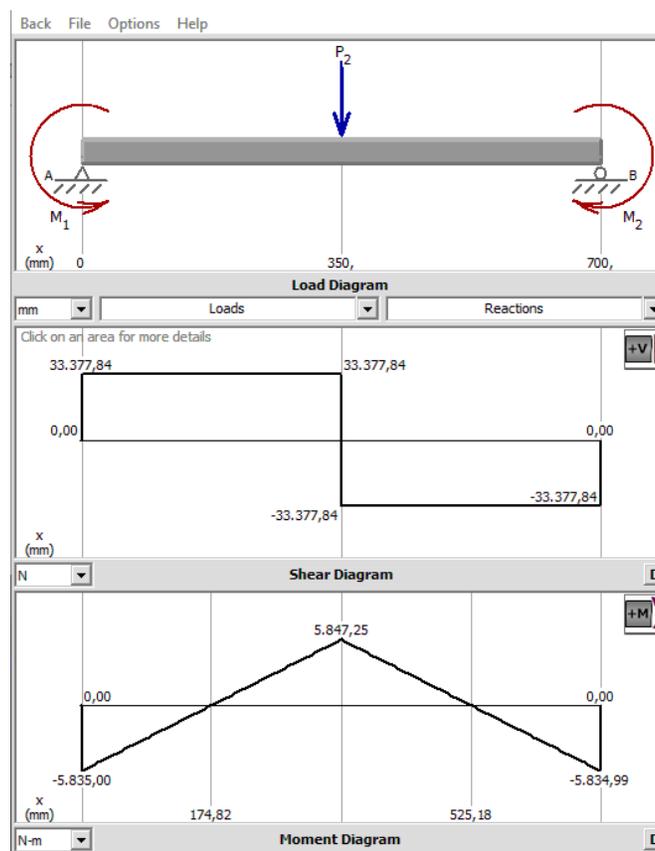


Figura 33. Diagrama de fuerza cortante y momento flector máximo de la riel guía circular

Realizado un previo análisis se presenta las etapas que hará referencia al diseño de la riel guía circular:

a) Diámetro de la Riel

Para proceder a calcular el diámetro requerido de la riel guía se emplea dos ecuaciones:

- **Esfuerzo Normal**

$$\sigma = \frac{M}{S}$$

- **Módulo de Sección Circular**

$$S = \frac{\pi * D^3}{32}$$

Despejando y reemplazando las dos ecuaciones anteriores se obtiene la ecuación (16) que permite determinar el diámetro adecuado de la riel guía circular, conocido el material a emplearse se tiene una resistencia a la cedencia de 207MPa y se emplea un factor de seguridad de 3 que es recomendable para el diseño de máquinas..

$$D = \sqrt[3]{\frac{32 * M * N_{fs}}{\pi * S_y}}$$

Ec. 16

Donde:

D: Diametro requerido [m]

M: Momento flector máximo [Nm]

S_y : Resistencia a la cedencia [MPa]

Nfs : Factor de diseño

$$D = \sqrt[3]{\frac{32 * 5.835Nm * 3}{\pi * 207MPa}}$$

$$D = 0.0095m$$

$$D \geq 0.0095m$$

Realizado el cálculo da como resultado un diámetro de 9.5mm que para nuestro interés no es tan factible, pues al seleccionar un eje de diámetro superior ofrece mayor seguridad al sistema para lo cual se selecciona un eje de 12mm diámetro.

b) Esfuerzo de Diseño

Empleando la ecuación (4) se determina el nivel de esfuerzo que puede soportar la riel guía circular de acero inoxidable AISI – 304.

$$\sigma_d = \frac{207 MPa}{3}$$

$$\sigma_d = 69 MPa$$

c) Esfuerzo de Máximo

El cálculo del esfuerzo máximo en la riel guía circular permite determinar la máxima cantidad de esfuerzo que el material puede soportar y se calcula mediante la ecuación (17)

$$\sigma_{max} = \frac{32 * M}{\pi * (D)^3} \quad \text{Ec. 17}$$

Donde:

σ_{max} : Esfuerzo máximo [N]

M : Momento flector máximo [Nm]

D : Diametro de la riel guia circular

$$\sigma_{\max} = \frac{32 * 5.835Nm}{\pi * (0.012m)^3}$$

$$\sigma_{\max} = 34.397MPa$$

Para determinar si el diseño es seguro se realiza la comprobación mediante el criterio de esfuerzos donde el esfuerzo de diseño debe ser igual o mayor al esfuerzo máximo, siendo la respuesta verdadera se garantiza que el diseño es seguro.

$$\sigma_d \geq \sigma_{\max}$$

$$69MPa \geq 34.397MPa$$

Con ayuda del software CAD se realiza las comprobaciones de los valores de los esfuerzos máximos resultado de cálculos teóricos, asegurando de esta manera un diseño completamente seguro.

El esfuerzo máximo (Von Mises) de la Figura (16) calculado por el software es de $34.68 \times 10^6 Pa$, valor similar al esfuerzo máximo calculado teóricamente, garantizando el diseño propuesto.

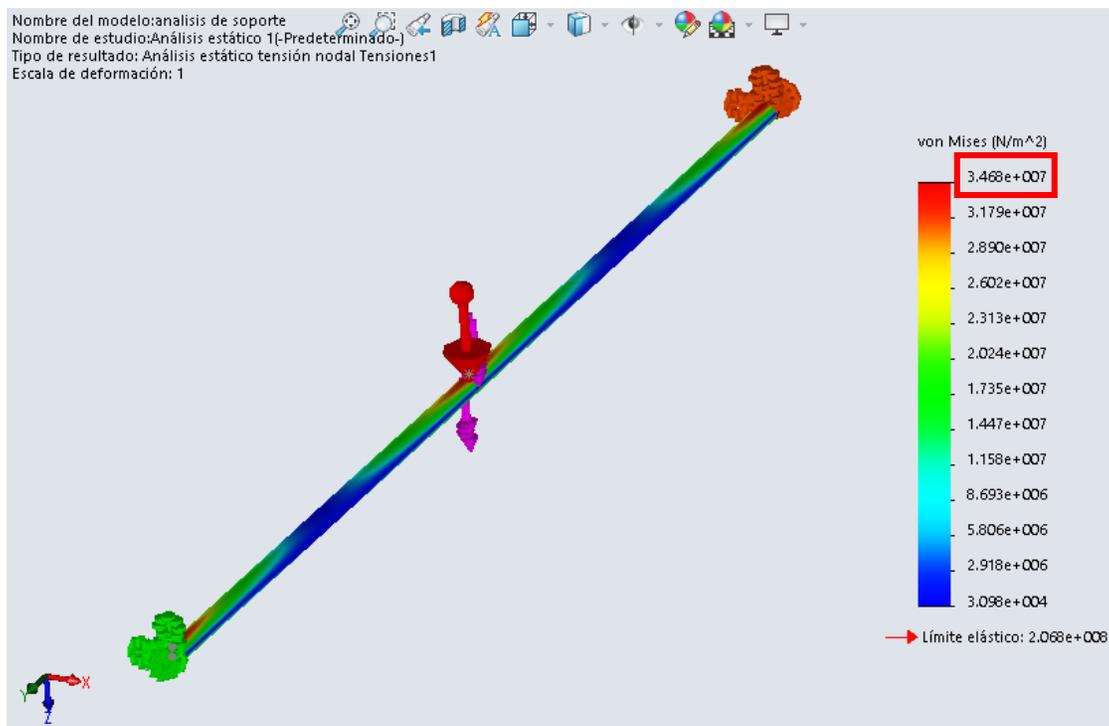


Figura 34. Análisis de Esfuerzos Riel Guía Circular

d) Factor de Seguridad

Con el cálculo del esfuerzo máximo y la resistencia a la cedencia del acero inoxidable AISI – 304 se determina el nuevo factor de seguridad mediante la ecuación (18)

$$n = \frac{S_y}{\sigma_{\max}}$$

Ec. 18

$$n = 6.0179$$

De esta manera se comprueba que el diseño teórico de la riel guía es seguro para la carga estática. En la Figura (34) se ilustra el Factor de Diseño (FDS) calculado por software CAD es aproximado al teórico, garantizando el diseño en su totalidad.

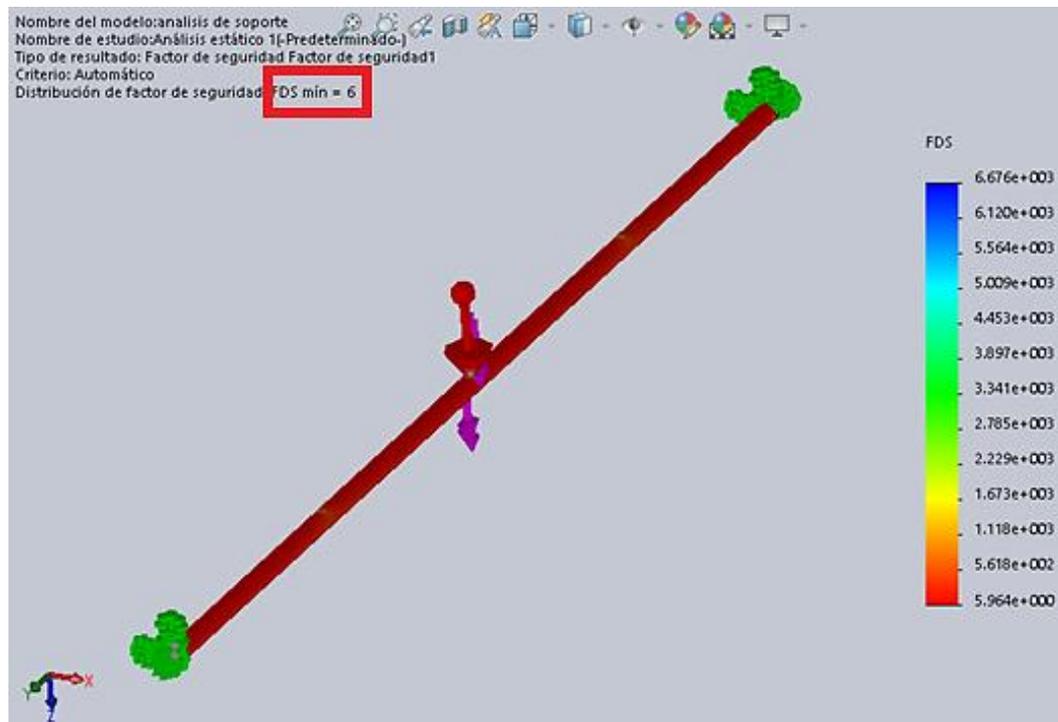


Figura 35. Análisis del factor de seguridad

e) Deformación Máxima

Determinado el nuevo diámetro de 12mm y el factor de seguridad de 6, se procede a calcular la deformación máxima que estará sometida la riel guía circular mediante la ecuación (19), teniendo en cuenta que el acero inoxidable AISI – 304 posee un Módulo de elasticidad de 190 GPa que es un dato necesario para el cálculo de la deformación.

$$Y_{\max} = -\frac{F_s * L^3}{192 * E * I} \quad \text{Ec. 19}$$

Donde:

Y_{\max} : Deflexión máxima [m]

F : Fuerza máxima que soporta cada riel guía [N]

L : Longitud de la riel guía [m]

E : Módulo de elasticidad del Acero inoxidable AISI – 304 [GPa]

I : Momento de inercia de la sección circular de la riel guía [m⁴]

Otro dato esencial para el cálculo de la deformación máxima es el momento de inercia el cual se determina mediante la ecuación (20).

$$I = \frac{\pi * D^4}{64} \quad \text{Ec. 20}$$

$$I = 1.0178 \times 10^{-9} m^4$$

$$Y_{\max} = -\frac{33.345 \text{ N} * (0.7m)^3}{192 * 190 \text{ GPa} * 1.0178 \times 10^{-9} m^4}$$

$$Y_{\max} = -0.000616m$$

Tabla 19*Límites de flexión recomendadas*

DESCRIPCIÓN	LÍMITES DE FLEXIÓN RECOMENDADAS
Máquina en general	$0.0005 \leq \frac{Y_{\max}}{L} \leq 0.003$
Precisión moderada	$0.00001 \leq \frac{Y_{\max}}{L} \leq 0.0005$
Alta precisión	$0.000001 \leq \frac{Y_{\max}}{L} \leq 0.00001$

Fuente: (Mott R. L., 2006)

Según Robert L. Mott, para el diseño de maquinaria en general existen límites de flexión recomendados como se puede observar en la tabla 19.

$$0.0005 \leq \frac{Y_{\max}}{L} \leq 0.003$$

$$0.0005 \leq 0.00088 \leq 0.003$$

Ésta es una flexión relativa que se encuentra dentro del intervalo de flexiones aceptables para la parte general de una máquina y no afectara adversamente a la operación.

Conjuntamente por criterio de vigas se cumple con la siguiente comprobación, la cual permite satisfacer el diseño.

$$Y_{\max} \leq Y_{\text{diseño}}$$

Donde:

$$Y_{\text{diseño}} = \frac{L}{360}$$

$$Y_{\text{diseño}} = \frac{0.7m}{360}$$

$$Y_{\text{diseño}} = 0.00194m$$

- **Comprobación**

$$0.000616m \leq 0.00194m$$

Comprobado que el diseño teórico cumple con todas las especificaciones se procede al Figura 35 URES (Desplazamientos resultantes) del software CAD, se obtiene una deformación máxima de $6.203 \times 10^{-1} \text{ mm} = 0.0006203 \text{ m}$, que se aproxima al valor calculado de forma teórica. Por lo tanto, la deflexión es tolerable para que el sistema trabaje de forma apropiada.

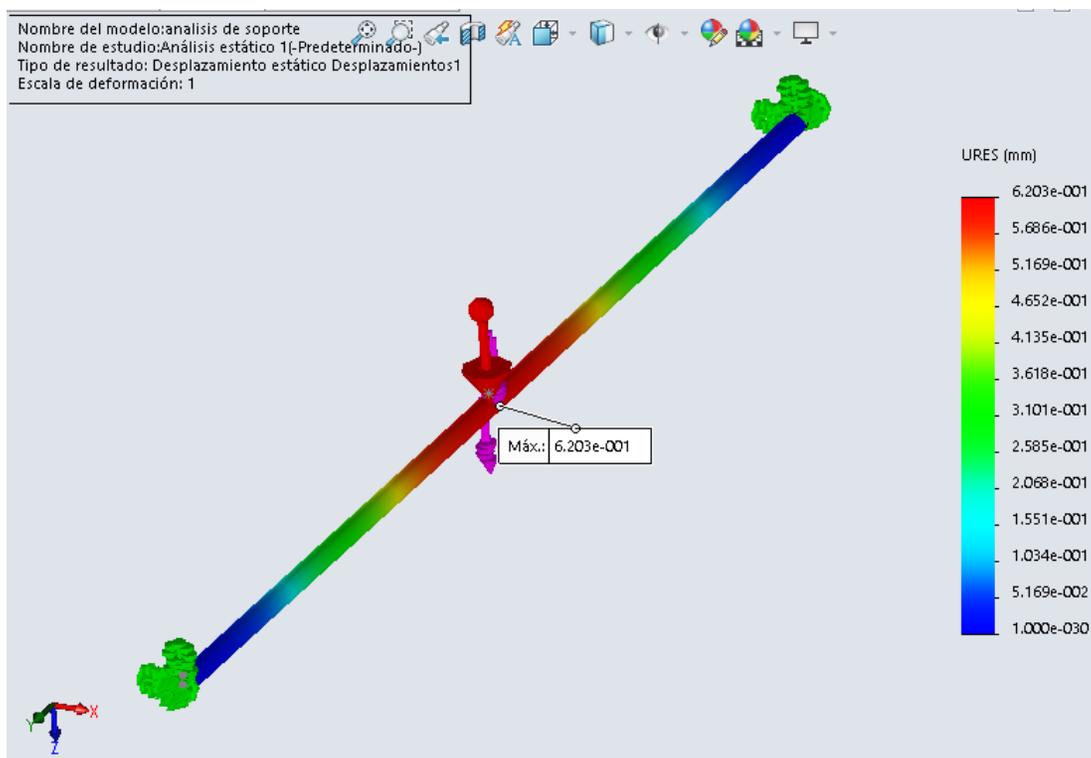


Figura 36. Análisis de Desplazamiento máximo

3.3.5. Diseño del Tornillo de Potencia y Selección del Motor Paso a Paso para Traslado de Tuberías

Para el diseño del tornillo de potencia se seleccionado como material para su fabricación al Acero AISI-1020, el cual es un acero al carbono utilizado para la fabricación de piezas estructurales o de maquinaria que no estén sometidas a grandes esfuerzos mecánicos.

El tornillo de potencia tendrá la función de trasladar longitudinalmente con movimiento de paso a paso a todo el mecanismo gripper llevando consigo al tubo de 6 metros hasta la etapa de corte.

a) Selección del Tipo de Rosca

En la figura 36 se ilustran las roscas cuadradas y acme que son las más empleadas al momento de transmitir potencia. La rosca cuadrada posee mayor rendimiento y eficiencia pero no se encuentra normalizada mientras que la rosca ACME con un ángulo de 29° se obtiene un buen ajuste en la transmisión, además se encuentra normalizada lo que permite su fácil construcción.

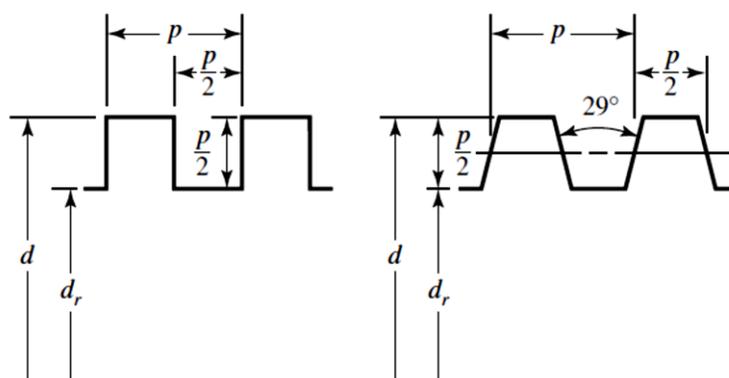


Figura 37. Rosca cuadrada y Acme

Donde:

d : *Diametro nominal [mm]*

d_m : *Diametro medio [mm]*

d_r : *Diametro menor [mm]*

p : *Paso de rosca [mm]*

Realizado el análisis de los tipos de roscas se opta por una rosca acme por su buen ajuste en la transmisión. En la Tabla 20 se puede observar los diámetros y pasos métricos normalizados, para nuestro sistema se prefirió un diámetro nominal de 12mm con un paso métrico de 1.75mm y para la transmisión un coeficiente de fricción de 0.4.

Tabla 20
Diámetros y áreas de roscas métricas

Diámetro mayor nominal d , mm	Serie de paso grueso		Serie de paso fino			
	Paso p , mm	Área de esfuerzo de tensión A_t , mm ²	Área del diámetro menor A_r , mm ²	Paso p , mm	Área de esfuerzo de tensión A_t , mm ²	Área del diámetro menor A_r , mm ²
1.6	0.35	1.27	1.07			
2	0.40	2.07	1.79			
2.5	0.45	3.39	2.98			
3	0.5	5.03	4.47			
3.5	0.6	6.78	6.00			
4	0.7	8.78	7.75			
5	0.8	14.2	12.7			
6	1	20.1	17.9			
8	1.25	36.6	32.8	1	39.2	36.0
10	1.5	58.0	52.3	1.25	61.2	56.3
12	1.75	84.3	76.3	1.25	92.1	86.0
14	2	115	104	1.5	125	116

Fuente: (Richard G. Budynas, J. Keith Nisbett, 2012)

Posteriormente se procede a los cálculos necesarios para la construcción del tornillo de potencia:

- **Diámetro menor**

El cálculo del diámetro menor se lo realiza mediante la ecuación (21):

$$d_r = d - p$$

Ec. 21

$$d_r = 12\text{mm} - 1.75\text{mm}$$

$$d_r = 10.25\text{mm}$$

- **Diámetro medio**

El cálculo del diámetro medio se lo realiza mediante la ecuación (22):

$$d_m = d - \frac{p}{2}$$

Ec. 22

$$d_m = 12mm - \frac{1.75}{2}mm$$

$$d_m = 11.125mm$$

b) Avance

El cálculo del avance de rosca se lo realiza mediante la ecuación (23) tomando en cuenta que el tornillo de potencia será realizado con una rosca simple siendo $n = 1$.

$$A = p * n \quad \text{Ec. 23}$$

$$A = 1.75mm * 1$$

$$A = 1.75mm$$

c) Par de torsión

Mediante la ecuación (24) se obtendrá el par de torsión que permitirá hacer que el tornillo gire contra la carga F de 133.38N

$$T = \frac{F * d_m}{2} * \left(\frac{A + \pi * \mu * d_m}{\pi * d_m - \mu * A} \right) \quad \text{Ec. 24}$$

$$T = \frac{133.38N * 11.125mm}{2} * \left(\frac{1.75mm + \pi * 0.4 * 11.125mm}{\pi * 11.125mm - 0.4 * 1.75mm} \right)$$

$$T = 340.774Nmm \rightarrow T = 0.34Nm$$

Como se puede observar el torque resultante es de 0.34Nm por consecuencia el motor paso a paso seleccionado debe ser un Nema 17, pero por prestaciones o sobre dimensionamientos en la construcción se elige un motor Nema 23 que posee un torque de 1.29 Nm cuyas características se puede observar en la Figura 37.

d) Esfuerzo de tracción

El esfuerzo de tracción es producido por la carga a transportar y se determina mediante la siguiente ecuación.

$$\sigma_t = \frac{F}{A_t} = \frac{F}{\frac{\pi}{4} * \left(\frac{d_r + d_m}{2}\right)^2}$$

$$\sigma_t = \frac{133.38N}{\frac{\pi}{4} * \left(\frac{10.25mm + 11.125mm}{2}\right)^2}$$

$$\sigma_t = 1.487MPa$$

e) Esfuerzo de torsión

El esfuerzo de torsión es producido por el torque que se emplea para el movimiento del tornillo de potencia

$$\tau = \frac{16 * T}{\pi * d_r^3}$$

$$\tau = \frac{16 * 340.774Nmm}{\pi * (10.25mm)^3}$$

$$\tau = 1.612MPa$$

f) Factor de seguridad

Obtenidos los esfuerzos a tracción y torsión se realiza el cálculo del factor de seguridad del tornillo de potencia mediante la ecuación (25).

$$N_s = \sqrt{\frac{1}{\left(\frac{\sigma_t}{S_y}\right)^2 + \left(\frac{\tau}{0.577 * S_y}\right)^2}}$$

Ec. 25

Donde:

$$S_y = 207MPa$$

$$N_s = \sqrt{\frac{1}{\left(\frac{1.487MPa}{207MPa}\right)^2 + \left(\frac{1.612MPa}{0.577 * 207MPa}\right)^2}}$$

$$N_s \rightarrow 65.42$$

Obtenido el factor de seguridad, el tornillo de potencia de 12mm de diámetro resulta sobre diseñado tanto por resistencia como por pandeo lo cual es tolerable tanto por razones de estética y como su disponibilidad en el mercado.

3.3.6. Diseño del Tornillo de Potencia y Selección del Motor Paso a Paso para Apriete del Gripper

El tornillo de potencia tendrá la función de realizar la sujeción del tubo de 6 metros para la etapa de traslado y corte. En la ecuación 1 se determinó la fuerza necesaria de apriete del tubo de $1\frac{1}{2}plg$ es de 138.915 N. Por criterio propio seleccionamos un motor nema 23 que posee un torque de 1.29 Nm cuyas características se ilustran en la Figura 3 y se procede a calcular la Fuerza.

Especificaciones del motor paso a paso <i>SureStep™</i>				
Números de artículo	STP-MTR-17048	STP-MTR-23055	STP-MTR-23079	STP-MTR-34066
Flanje del Motor	NEMA 17	NEMA 23	NEMA 23	NEMA 34
Torque de eje deternido máximo	0,59 N-m	1,29 N-m	2,08 N-m	3,06 N-m
	83 onzas-pulgada	166 onzas-pulgada	276 onzas-pulgada	434 onzas-pulgada
	5,2 libras-pulgada	11,4 libras-pulgada	18,4 libras-pulgada	27,1 libras-pulgada
Inertia del rotor	0,0000068 kg-m ²	0,000027 kg-m ²	0,000047 kg-m ²	0,00014 kg-m ²
	0,45 oz-in ²	1,483 oz-in ²	2,596 oz-in ²	7,66 oz-in ²
	0,00006 lb-in-s ²	0,00024 lb-in-s ²	0,00042 lb-in-s ²	0,0012 lb-in-s ²
Corriente nominal	2,0 A/fase	2,8 A/fase	2,8 A/fase	2,8 A/fase
Angulo del paso básico	1,8° (motores bifásicos con cable con conector)			
Peso	210 gramos 0,7 lbs	457 gramos 1,50 lbs	1 Kg 2,2 lbs	1,17 Kg 3,85 lbs

Figura 38. Especificaciones del motor a paso
Fuente: (AutomationDirect, 2007)

a) Selección del Tipo de Rosca

Para el diseño del tornillo de potencia se opta por una rosca acme por su buen ajuste en la transmisión. Mediante la Tabla 15 seleccionamos un diámetro nominal de 8mm con un paso métrico de 1.25mm y para la transmisión un coeficiente de fricción de 0.4. Posteriormente se procede a los cálculos necesarios para la construcción del tornillo de potencia:

- **Diámetro menor**

El cálculo del diámetro menor se lo realiza mediante la ecuación (21):

$$d_r = d - p$$

$$d_r = 8mm - 1.25mm$$

$$d_r = 6.75mm$$

- **Diámetro medio**

El cálculo del diámetro medio se lo realiza mediante la ecuación (22):

$$d_m = d - \frac{p}{2}$$

$$d_m = 8mm - \frac{1.25}{2}mm$$

$$d_m = 7.375mm$$

b) Avance

El cálculo del avance de rosca se lo realiza mediante la ecuación (23) tomando en cuenta que el tornillo de potencia será realizado con una rosca simple siendo $n = 1$.

$$A = p * n$$

$$A = 1.25mm * 1$$

$$A = 1.25mm$$

c) Fuerza de Apriete

Mediante la ecuación (24) se determina la fuerza de apriete, teniendo en cuenta el motor seleccionado es un nema 23 que posee un torque de 1.29 Nm

$$T = \frac{F * d_m}{2} * \left(\frac{A + \pi * \mu * d_m}{\pi * d_m - \mu * A} \right)$$

$$F = \frac{2 * T}{d_m * \left(\frac{A + \pi * \mu * d_m}{\pi * d_m - \mu * A} \right)}$$

$$F = \frac{2 * 1290 Nmm}{7.375 mm * \left(\frac{1.25 mm + \pi * 0.4 * 7.375 mm}{\pi * 7.375 mm - 0.4 * 1.25 mm} \right)}$$

$$F = 754.005 N$$

- Comprobación

$$F > F_g$$

$$754.005 N > 138.915 N$$

Como se puede observar la fuerza obtenida por el motor y el tornillo es mayor a la calculada en la ecuación 1 por consecuencia el motor y el tornillo seleccionados son los adecuados.

d) Esfuerzo de tracción

El esfuerzo de tracción producido por el apriete se determina mediante la siguiente ecuación.

$$\sigma_t = \frac{F}{A_t} = \frac{F}{\frac{\pi}{4} * \left(\frac{d_r + d_m}{2} \right)^2}$$

$$\sigma_t = \frac{754.005 N}{\frac{\pi}{4} * \left(\frac{16.75 mm + 7.375 mm}{2} \right)^2}$$

$$\sigma_t = 19.25 MPa$$

e) Esfuerzo de torsión

El esfuerzo de torsión es producido por el torque que se emplea para el movimiento del tornillo de potencia

$$\tau = \frac{16 * T}{\pi * d_r^3}$$

$$\tau = \frac{16 * 754.005 Nmm}{\pi * (6.75mm)^3}$$

$$\tau = 21.3623 MPa$$

f) Factor de seguridad

Obtenidos los esfuerzos a tracción y torsión se realiza el cálculo del factor de seguridad del tornillo de potencia mediante la ecuación (25).

$$N_s = \sqrt{\frac{1}{\left(\frac{\sigma_t}{S_y}\right)^2 + \left(\frac{\tau}{0.577 * S_y}\right)^2}}$$

Donde:

$$S_y = 207 MPa$$

$$N_s = \sqrt{\frac{1}{\left(\frac{19.25 MPa}{207 MPa}\right)^2 + \left(\frac{21.3623 MPa}{0.577 * 207 MPa}\right)^2}}$$

$$N_s \rightarrow 4.96$$

Obtenido un factor de seguridad de 4.96, el tornillo de potencia es aceptable para realizar el trabajo de apriete. Uno de los puntos esenciales a tener en cuenta es el cálculo del esfuerzo máximo y deformación que estará sometido el tubo por la fuerza de apriete.

g) Esfuerzo Máximo Del Tubo.

Como la comprobación $F > F_g$ es satisfactoria se calcula el esfuerzo máximo que soportará el tubo con la fuerza de apriete del motor a pasos nema 23 y el tornillo de potencia, mediante la ecuación (26).

$$\sigma = \frac{F_{\text{total}}}{A} \quad \text{Ec. 26}$$

$$A = \frac{\pi}{4} (d_{\text{ext}}^2 - d_{\text{int}}^2) m^2$$

$$A = \frac{\pi}{4} (0.0381^2 - 0.0351^2) m^2$$

$$A = 0.0001725 m^2$$

Sustituyendo los valores obtenidos el Esfuerzo Máximo es igual a:

$$\sigma = \frac{754.005 N}{0.0001725 m^2}$$

$$\sigma = 4.37 MPa$$

h) Deformación del Tubo.

El cálculo de la deformación del tubo permite verificar si el material tendrá una deformación excesiva o mínima provocada por la fuerza de apriete del gripper, la cual se calcula mediante la ecuación (27):

$$e = \frac{\sigma}{E} \quad \text{Ec. 27}$$

Dónde: G

σ : Esfuerzo Maximo del tubo (Pa)

E: Modulo de Elasticidad del acero (Pa) = 200GPa

$$e = \frac{\sigma}{E} = \frac{4.37MPa}{200 GPa}$$

$$e = 0.0000218586$$

3.3.7. Diseño del Caballete

Para el diseño de los caballetes se realiza un análisis similar a los soportes del gripper, los cuales son estudiados como una columna estructural y serán los encargados de soportar todo el peso del tubo de 6 metros.

Para elegir el factor de fijación hacemos referencia a la tabla 13 cuyo análisis será ambos extremos articulados donde K será igual a 1 el cual es un valor práctico para columnas y mediante la figura 20 se selecciona una dimensión de tubo cuadrado normalizado para realizar su respectivo análisis.

B	t	p	Ag	g	lx=ly	Sx=Sy	rx=ry	Zx=Zy	J	C
mm	mm	m ² /m	cm ²	Kg/m	cm ⁴	cm ³	cm	cm ³	cm ⁴	cm ³
25	0.9	0.097	0.847	0.665	0.809	0.647	0.977	0.759	1.253	1.043
	1.25	0.096	1.147	0.901	1.058	0.847	0.96	1.01	1.657	1.403
	1.6	0.095	1.432	1.124	1.274	1.019	0.943	1.237	2.013	1.736
	2	0.093	1.737	1.364	1.483	1.186	0.924	1.468	2.363	2.085

Figura 39. Selección de las dimensiones del tubo cuadrado

Fuente: (Instituto Nacional de Tecnología Industrial, 2005)

Como se observa en la figura 39 el peso del tubo de 6 metros se encuentra distribuido para cada uno de los caballetes. Para calcular la fuerza que actúa en cada caballete se divide el peso del tubo 11.33Kg para los 6 caballetes

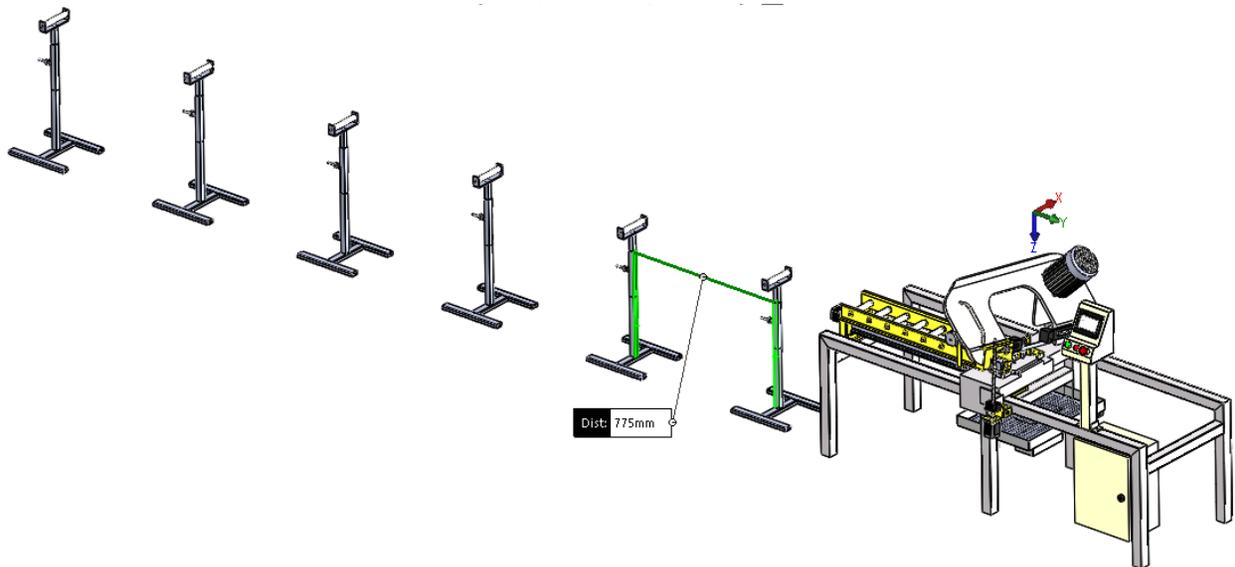


Figura 40. Cortadora de sierra de cinta

$$F_c = \frac{m * g}{6}$$

$$F_c = \frac{11.33Kg * 9.8 \frac{m}{s^2}}{6}$$

$$F_c = \frac{111.13N}{6}$$

$$F_c = 18.52N$$

Como resultado obtenemos una fuerza de 18.52N que actuara en el rodillo de cada caballete como se muestra en la figura 40.

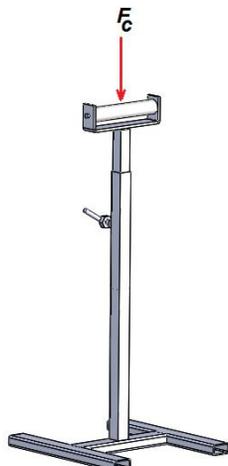


Figura 41. Fuerza que actúa en cada caballete

Como se observa en la Figura 41 el caballete cuenta con una estructura que sirven de apoyo para el rodillo, donde la fuerza que actúa en el rodillo se divide para cada apoyo de la estructura dando como resultado una fuerza de 9.26N que soportada cada lado de la estructura.

Con la ayuda del software MDSolid se calcula las reacciones y momento flector máximo.

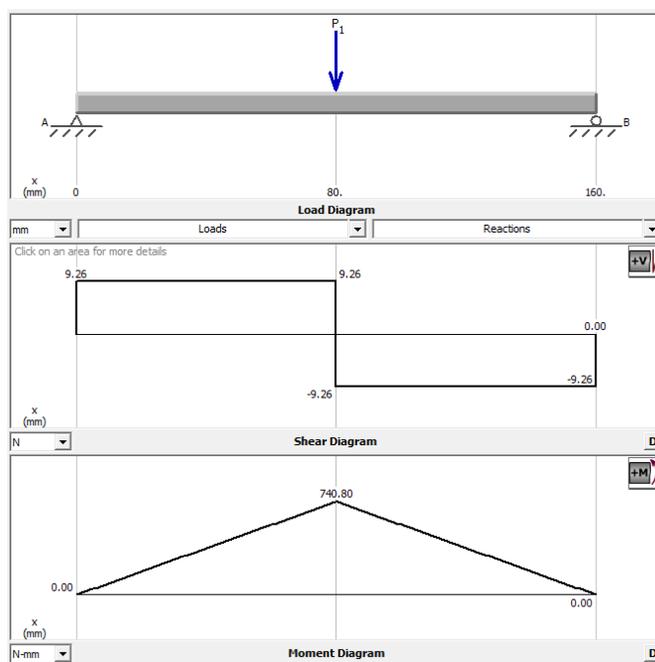


Figura 42. Diagrama de fuerza cortante y momento flector máximo de la estructura del caballete

Dando como resultado:

- $R_A = 9.26 \text{ N}$
- $R_B = -9.26 \text{ N}$
- $M = 0.7408 \text{ Nm}$

Posteriormente se realiza el diagrama de cuerpo libre de la estructura del caballete con sus respectivas reacciones para determinar la fuerza que soporta la columna del mismo.

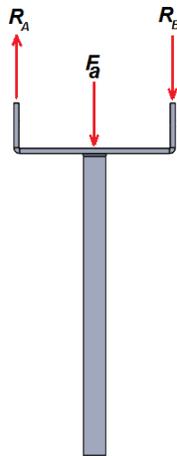


Figura 43. DCL Estructura del Caballete

$$F_a = R_a - R_b$$

$$F_a = 9.26 \text{ N} - (-9.26) \text{ N}$$

$$F_a = 18.52 \text{ N}$$

Un dato primordial a tener en cuenta es la longitud efectiva de una columna que se determina mediante la ecuación (7) cuyo factor de fijación será de 1 y la longitud de la columna de 0.812 metros

$$L_e = K * L$$

$$L_e = 1 * 0.812 \text{ m}$$

$$L_e = 0.812 \text{ m}$$

Consecutivamente se procede a calcular la relación de esbeltez mediante la ecuación (11), la cual nos permite definir el comportamiento que tendrá la columna donde el radio de giro es obtenido de los datos que nos proporciona la Figura 38.

$$SR = \frac{L_e}{r_{giro}}$$

$$SR = \frac{0.812m}{0.00924m}$$

$$SR = 87.878$$

A continuación, se procede al cálculo de la constante de columna para el Acero ASTM – A36 el cual tiene un módulo de elasticidad de 200GPa y una resistencia a la fluencia de 250MPa mediante la ecuación (12).

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{S_y}}$$

$$C_c = \sqrt{\frac{2 * \pi^2 * (207GPa)}{290MPa}}$$

$$C_c = 125.664$$

Al conocer los valores de la relación de esbeltez y la constante de columna se realiza la siguiente comparación:

- $SR < C_c \rightarrow$ Columna Corta
- $SR > C_c \rightarrow$ Columna Larga

$$SR < C_c$$

$$67.0996 < 125.664$$

Realizada la comparación se establece una columna corta para la cual se emplea la fórmula de J. B. Johansson que permite determinar la carga crítica que soportará la columna mediante la ecuación (13).

$$P_{cr} = A * S_y * \left(1 - \frac{S_y * \left(\frac{k * L}{r_{giro}} \right)^2}{4 * \pi^2 * E_{acero}} \right)$$

Donde:

A: Área (ver Figura 38)

$$P_{cr} = 0.0001737 \text{ m}^2 * 250 \text{ MPa} * \left(1 - \frac{250 \text{ MPa} * \left(\frac{1 * 0.812 \text{ m}}{0.00924 \text{ m}} \right)^2}{4 * \pi^2 * 200 \text{ GPa}} \right)$$

$$P_{cr} = 32806.62 \text{ N}$$

Como nos damos cuenta la carga máxima que puede soportar la columna antes de pandearse es de 32806.62N, por lo cual es necesario calcular el valor de la carga permisible siendo esta la carga máxima con la que se diseña los elementos estructurales que actúan como columna empleando un factor de seguridad de 3 y se determina mediante la ecuación (14)

$$P_a = \frac{P_{cr}}{n_s}$$

$$P_a = \frac{32806.62 \text{ N}}{3}$$

$$P_a = 10935.54 \text{ N}$$

a) Justificación de cargas

Mediante la siguiente comparación se garantizamos que el diseño es seguro, tomando como referencia que la carga máxima que soportara la columna deberá ser mayor a la carga que actuara en la misma.

$$P_a \geq F_a$$

$$10935.54 \text{ N} \geq 18.52 \text{ N}$$

Con la ayuda del software CAD aplicando a la columna la carga permisible se obtiene un factor de seguridad de 3.1 (ver Figura 43) lo cual significa que el diseño es seguro y se procede a su construcción.

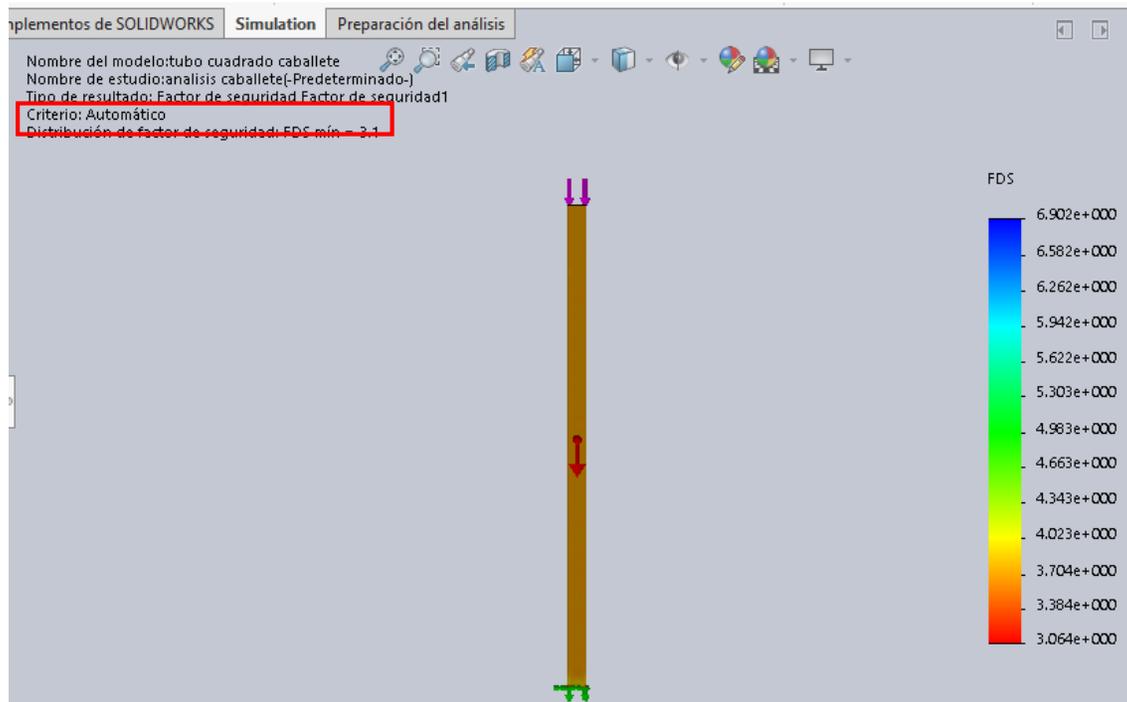


Figura 44. Factor de seguridad del caballete

3.3.8. Diseño de la Mesa

Para el cálculo de las dimensiones del perfil a emplearse en la construcción de la mesa se realizara el análisis de los miembros más críticos como se muestra en la Figura 44, siendo la parte superior de la mesa la que soporta el peso del tubo de 6m que tiene una masa de 11.34kg.

- **Peso del tubo**

$$F = 11.34kg * 9.8 \frac{m}{s^2}$$

$$F = 111.132 N$$

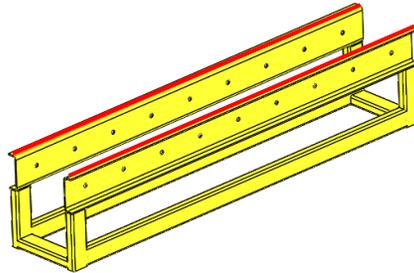


Figura 45. Modelo CAD de la mesa

Como se muestra en la Figura 44 la mesa cuenta con dos soportes donde el peso del tubo es dividido para para los soportes dando como resultado la fuerza que actuara en cada uno de ellos.

$$F_s = \frac{W}{2}$$

$$F_s = 55.566 \text{ N}$$

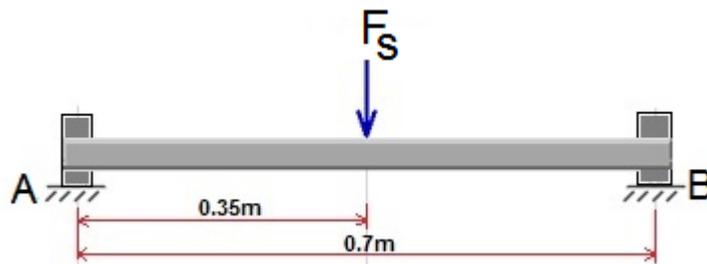


Figura 46. Diagrama de cuerpo libre de un soporte de la mesa

Posteriormente se realiza un análisis como una viga empotrada en sus extremos como se observa en la Figura 45 y como la ayuda de software MDSolids obtenemos las reacciones y momentos flectores de la viga.

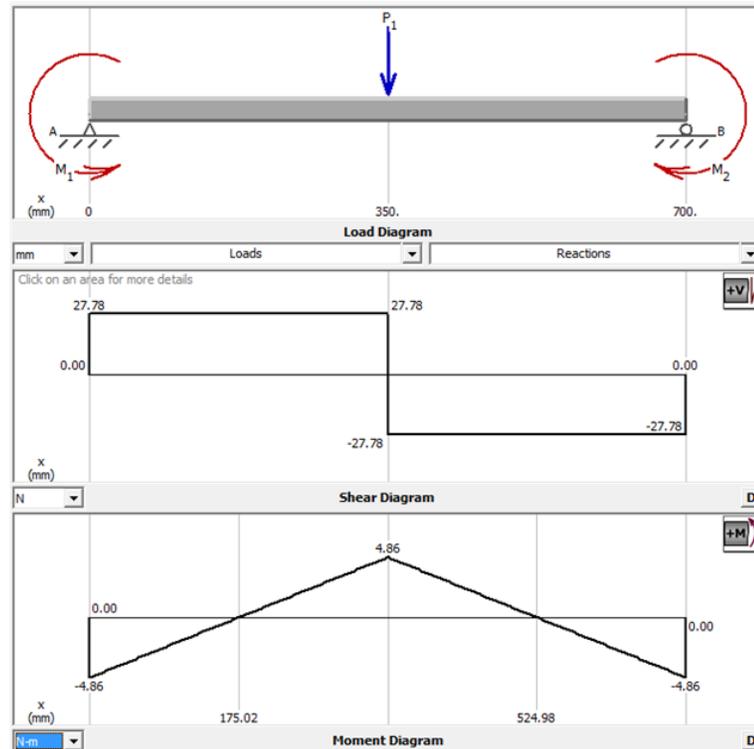


Figura 47. Diagrama de fuerza cortante y momento flector máximo del soporte de la mesa

- $R_A = R_B = 27.78 \text{ N}$
- $M_{\max} = 4.862025 \text{ Nm}$

a) Esfuerzo de Diseño

Empleando la ecuación (4) se determina el nivel de esfuerzo que puede resistir el soporte de la mesa de Acero ASTM - A36

$$\sigma_d = \frac{S_y}{N_{fs}}$$

$$\sigma_d = 83.33 \text{ MPa}$$

b) Esfuerzo Máximo

$$b = 0.015 \text{ m}$$

$$h=0.020 \text{ m}$$

$$S = \frac{1}{6} * b * h^2$$

$$S = 0.000001 \text{ m}^3$$

$$I_y = \frac{1}{12} * b * h^3$$

$$I_y = 1. \times 10^{-8} \text{ m}^4$$

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{S}$$

$$\sigma_{\max} = 4.862025 \text{ M Pa}$$

c) Justificación de esfuerzos

$$\sigma_d \geq \sigma_{\max}$$

$$83.33 \text{ MPa} \geq 4.862 \text{ M Pa}$$

d) Factor de seguridad

$$n_{\text{final}} = \frac{S_y}{\sigma_{\max}}$$

$$n_{\text{final}} = 51.419$$

e) Deformación Máxima

$$Y_{\max} = - \frac{W * L^3}{192 * E_{\text{acero}} * I_y}$$

$$Y_{\max} = -0.0000496 \text{ m}$$

3.4. DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL ELÉCTRICO

El sistema de control eléctrico rige el comportamiento de todo el sistema del proceso de corte con el fin de reducir fallos y obtener resultados deseados. Los diagramas de conexión de los motores paso a paso con su respectivo controlador o driver, motor de la sierra, motor de la taladrina y PLC se ilustran en este apartado.

3.4.1. Descripción de los Dispositivos de Control Eléctrico

Los dispositivos encargados de dar funcionamiento al sistema de corte automático se detallan a continuación:

a) PLC

El Controlador Lógico Programable también conocido como PLC es la parte esencial de la automatización de la sierra, por ser de fácil adquisición y contar con un lenguaje de programación estándar, además de contar con un puerto de comunicación industrial que permite la monitorización del proceso.

Para la selección del PLC se debieron tomar en cuenta puntos esenciales que se detallan a continuación:

- Control de Velocidad y Dirección de Motores Paso a Paso
- 8 Salidas Entradas
- 8 Salidas Digitales por Transistor
- 2 Salidas Digitales por Relé
- Comunicación con Pc
- Comunicación con HMI Delta

Teniendo en cuenta todas las consideraciones se selecciona el PLC S7-1200 con una CPU 1214c DC/DC/DC de la marca SIEMENS, por ser una marca reconocida a nivel internacional en los procesos de automatización. (Ver Figura 47)



Figura 48. PLC S7-1200 CPU1214c DC/DC/DC
Fuente: (INDUSTRIA SIEMENS, 2009)

b) Módulo de Salidas Digitales

Para el sistema de automatización es necesario la implementación de un módulo de salidas digitales de relé como se muestra en la Figura 48, el cual está a cargo del control del motor de la sierra y del motor de la bomba del refrigerante (Taladrina), así como el control de iluminación del sistema de visión.



Figura 49. Módulo Salidas Digitales Relé SM1222
Fuente: (INDUSTRIA SIEMENS, 2009)

a) Touch Panel

Para la selección del Touch Panel se analizaron dos puntos primordiales como es el costo y la comunicación optando por el Touch Panel DOP-B03S211 de la marca DELTA como se indica en la Figura 49, la cual cuenta con las siguientes características:

- TFT LCD de 4,3 pulgadas (480 x 272 píxeles) 65536 colores
- 2 juegos de puertos COM, soporta RS-232 / RS-422 / RS-485
- Para transferencia / descarga de datos: RS-232, USB, Ethernet
- Soporta Ethernet
- Cumple con la norma IP65
- Soporta visualización horizontal / vertical



Figura 50. Módulo Salidas Digitales Relé SM1222
Fuente: (Delta Electronics, 2019)

b) Motores Paso a Paso

Los motores paso a paso son implementados para aplicaciones donde se requiere de fuerza al mismo tiempo precisión. Los motores seleccionados pertenecen al formato NEMA 23 unipolar con las siguientes características:

- Ángulo de paso: 1,8 grados

- Pasos: 200 por vuelta
- Fases: 4
- Voltaje: 12 a 24V
- Corriente: 2.6A/fase
- Diámetro de eje: 6.35mm
- Holding Torque: 10 a 14Kg/cm
- Formato: NEMA 23

Es un motor que requiere se conectado a un controlador para su control, para el cual se ha elegido el Driver TB6560 como se puede observar en la Figura 50 y su configuración se la explica más adelante.

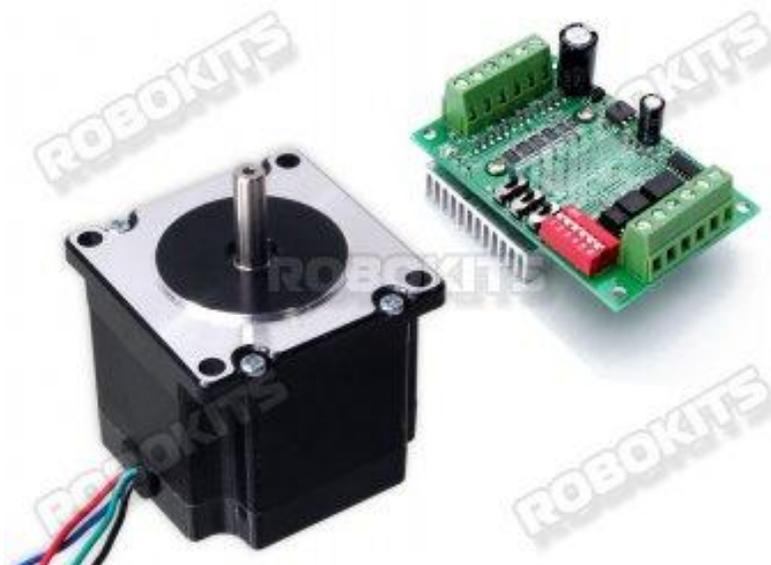


Figura 51. Motor PaP Nema 23 – Driver TB6560

Fuente: (Robokits, 2019)

c) Fuente de Alimentación

Debido a las prestaciones que requiere el control electrónico del sistema automático se optó por una fuente de alimentación TRIO POWER de la marca Phoenix Contact como se puede ver en la Figura 51, siendo uso primordial en la construcción de máquinas, debido a que satisface las elevadas pretensiones que se requieren este tipo de aplicaciones.

Características:

- Tensión de Entrada: 85 → 264 Vac
- Tensión de Salida: 24 → 28 Vdc
- Corriente de Salida: 20 Amp
- Rango de Frecuencia de Entrada: 50 → 60 HZ
- Temperatura Máxima de Trabajo: +70 °C
- Temperatura Máxima de Trabajo: -25 °C
- Tipo de Conversión de la Señal de Alimentación: AC - DC
- Número de Salidas: 1



Figura 52. Fuente de Alimentación TRIO POWER - 20 Amp
Fuente: (Phoenix Contact, 2018)

3.4.2. Diagramas de Conexiones Eléctricas

El control total de la máquina está a cargo del PLC S7-1200 CPU 1214 DC/DC/DC y las salidas digitales de relé SM 1222, a continuación, se ilustra toda la distribución de pines implementada para el sistema.

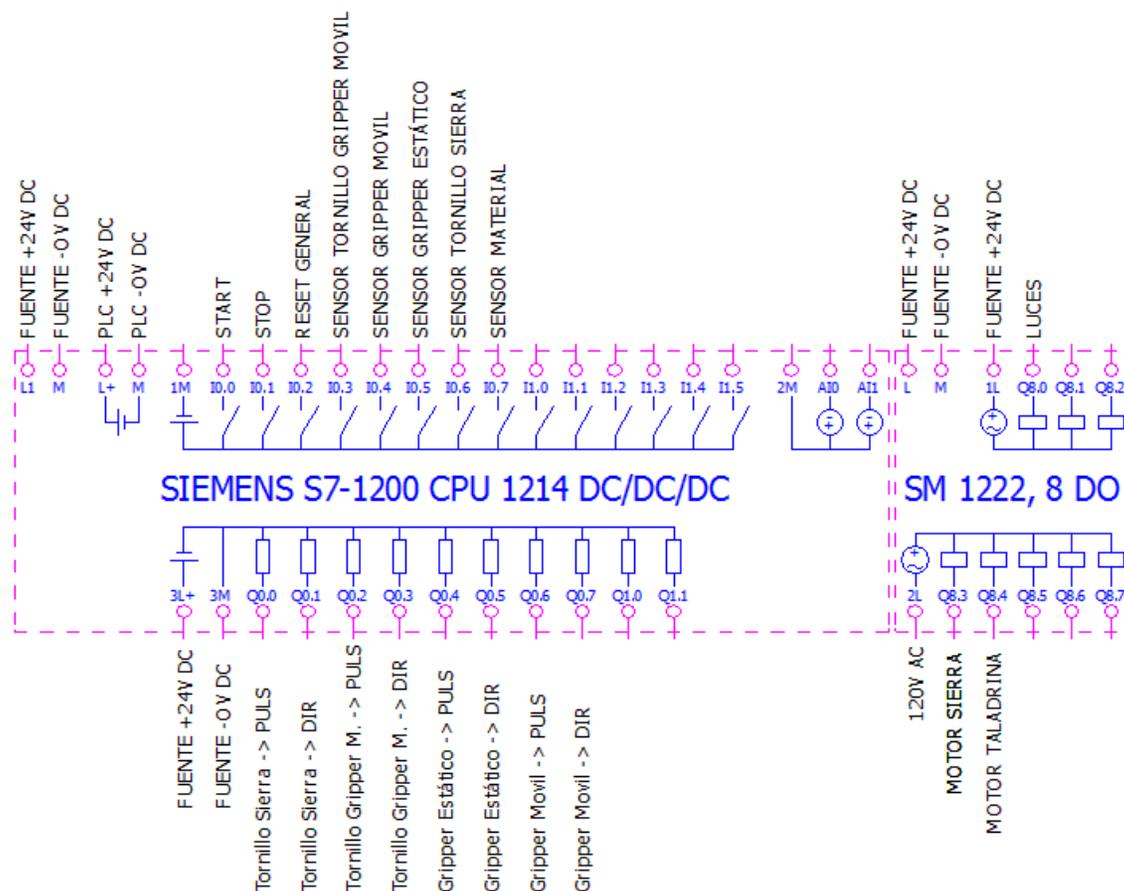


Figura 53. Distribución de Pines PLC S7-1200 CPU 1214 DC/DC/DC

La máquina contará con 4 motores paso a paso, los cuales han sido seleccionados en el apartado de Diseño del Sistema Mecánico. Los motores paso a paso seleccionados para realizar el trabajo pertenecen a la serie Nema 23 (Ver Figura 52) y para su control se utilizó el driver TB6560 (Ver Figura 13).

Las entradas del Driver TB6560 de pulso+, dirección+ y habilitación+ trabajan a 5V DC como nuestro controlador es el PLC S7-1200 DC/DC/DC/ que suministra un voltaje de 24V DC se requiere colocar una resistencia en el rango 2Kohm a 2.7Kohm entre el Driver y el PLC como se ilustra en la Figura 53.

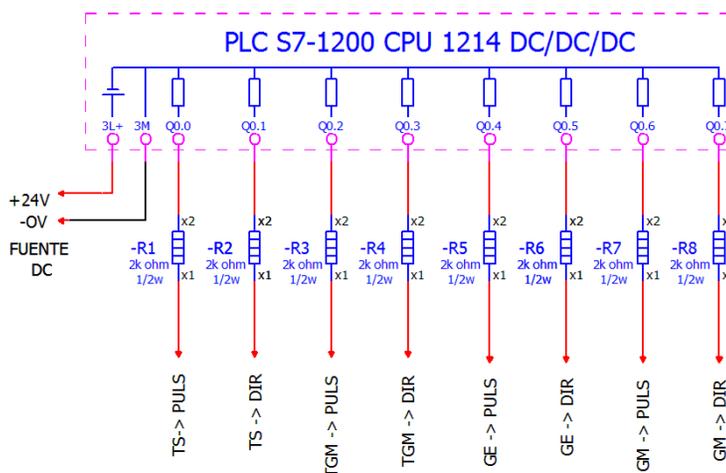


Figura 54. Conexión Motores Paso a Paso con Driver TB6560

Los motores nema 23 son alimentados a 24V y su corriente depende de la configuración que le suministre el Driver TB6560:

- “SW1 SW2 SW3 S1” Controla el Amperaje que se suministra
- “S1 20% y S2 50%” Si el Amp aumenta un él % el motor se detendrá.
- “S3 S4” Pulso de Operación (menor paso tenemos más precisión pero menor potencia).
- “S5 S6” Ajuste de la Decadencia, se recomienda S5 “OFF” S6 “OFF”

Como el motor nema 23 trabaja con una corriente de 2.6 amperios la configuración implementaremos es la siguiente:

Corriente de Trabajo														
(A)	0.3	0.5	0.8	1.0	1.1	1.2	1.4	1.5	1.6	1.9	2.0	2.2	2.6	3.0
SW1	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	ON	OFF	ON						
SW2	OFF	OFF	ON	ON	ON	OFF	ON	OFF	OFF	OFF	OFF	ON	ON	ON
SW3	ON	ON	OFF	OFF	ON	OFF	ON	ON	OFF	ON	ON	ON	OFF	ON
S1	ON	OFF	ON	OFF	ON	ON	OFF	ON	OFF	OFF	OFF	ON	OFF	OFF

Corriente Max	
	S2
20%	ON
50%	OFF

Control de Pasos		
STEP	S3	S4
Completo	OFF	OFF
Medio	ON	OFF
1/8	ON	ON
1/16	OFF	ON

Control de Decline		
	S5	S6
0%	OFF	OFF
25%	ON	OFF
50%	OFF	ON
100%	ON	ON

Figura 55. Configuración Drivers TB6560

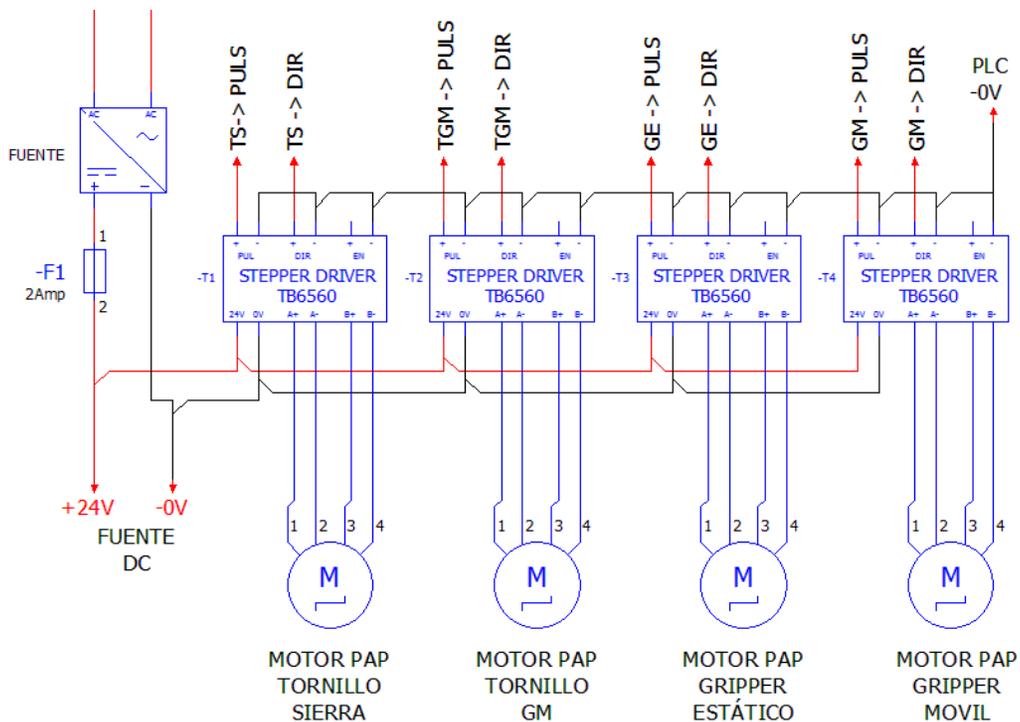


Figura 56. Conexión Motores Paso a Paso con Driver TB6560

Cada Motor paso a paso cuenta con un sensor inductivo para realizar su referenciado y está encargado de dar la señal al PLC, además el sistema de control cuenta con botones de Inicio, Parada y Paro de Emergencia. Un dato a tomar en cuenta es que los sensores tanto como las botoneras son alimentados por el voltaje de 24V que suministra el propio PLC como se ilustra en la Figura 56

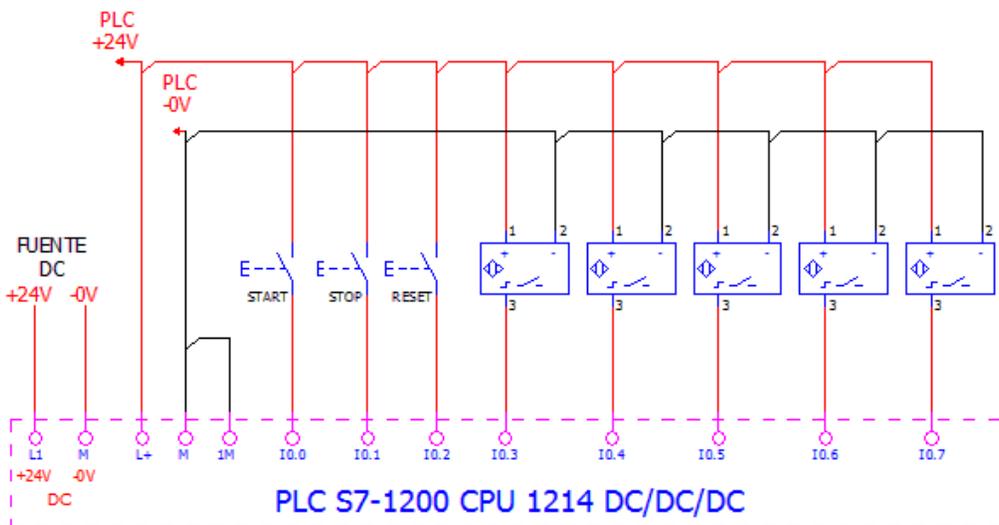


Figura 57. Entradas del PLC

Nuestro sistema cuenta además con una etapa de potencia la cual es controlada mediante el módulo de salidas digitales de Relé, este módulo realiza la activación y desactivación de los contactores KM1, KM2 que a su vez energiza a los motores de la sierra y del sistema de refrigeración (Taladrina) y de las luces de la Etapa de Visión. (Ver figura 57)

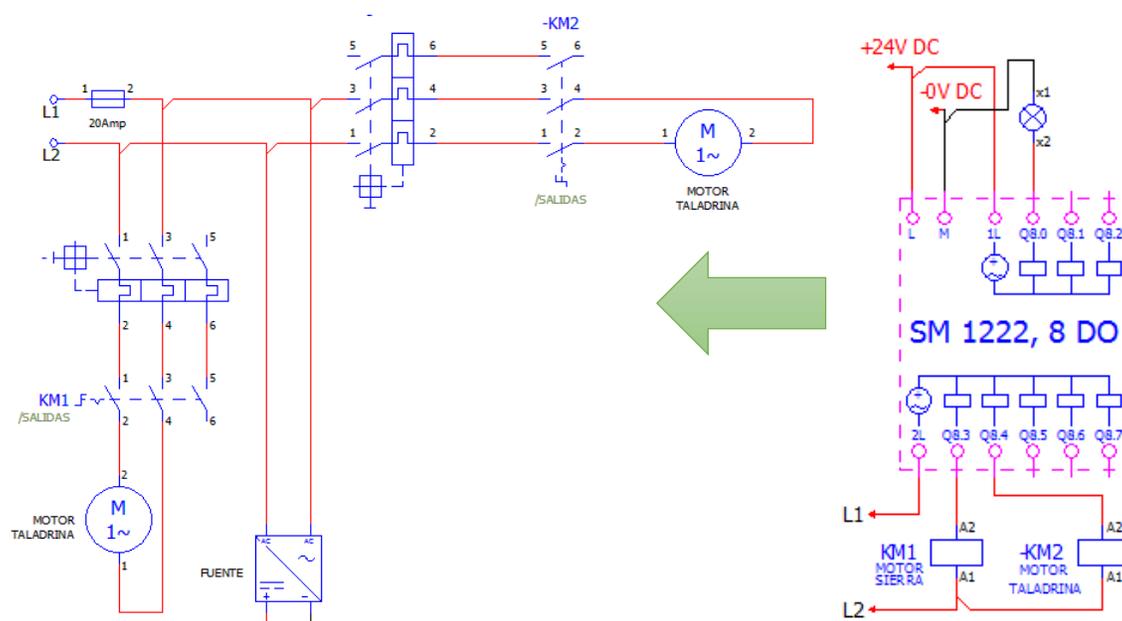


Figura 58. Control de Potencia

3.5. DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL DE CALIDAD

El sistema de control de calidad está encargado de realizar la supervisión del proceso de corte con el fin de reducir fallos la salida de la llama de la tubería y poder obtener resultados deseados. El sistema tendrá la función de medir el ancho de corte y como la separación entre cortes.

3.5.1. Descripción de los Dispositivos de Control de Calidad

Los dispositivos encargados de dar funcionamiento al Sistema de Control de Calidad se detallan a continuación:

a) Cámara

La adquisición de la imagen se va a realizar desde un ángulo superior a la hoja de la sierra permitiendo supervisar cada corte. Al momento de que se realiza un corte este genera una distancia y está relacionada con la profundidad del mismo; para ello evitamos la implementación de una segunda cámara. Entonces el sistema contará con una sola cámara la cual permitirá medir la distancia del corte y la distancia entre cortes.

Por su bajo costo y su compatibilidad con el software a implementarse se optó por una Cámara Web FaceCam 1000x. (Ver Figura 58)



Figura 59. Cámara FaceCam 1000x
Fuente: (KYE System Corp, 2019)

- **Especificaciones:**

- Sensor de imagen: CMOS de píxeles de alta definición 720p
- Tipo de lente: Objetivo de enfoque manual
- Formato de archivo: AVI/WMV
- Micrófono: Sí
- Resolución (DPI): 1MP, 1280 x 720, 640 x 480 pixels
- Peso: 50 g
- Dimensiones (A x A x P): 20 x 22 x 60 mm
- Colores: Negro

- **Requisitos del sistema**

- Windows XP, VISTA, 7 o superior
- Interfaz: USB 1.1
- Direct X 9.0 o superior

- b) Sistema de Iluminación**

Un aspecto fundamental a considerar en el sistema de visión es la iluminación. Si se implementa una iluminación apropiada, el sistema de visión resolverá la aplicación de manera ergonómica.

Para la implementación del sistema de iluminación existen diferentes técnicas, dentro de la cual hemos optado por un sistema de Luz frontal que a continuación se detalla su característica:

- **Luz frontal**

La cámara es posicionada mirando al objeto en la misma dirección de la luz. Esto permite la reducción de las sombras, suaviza texturas y minimiza la influencia de rayas e imperfecciones que pueda poseer el objeto, permitiendo a la cámara recibir la luz reflejada del objeto.



Figura 60. Sistema de Iluminación Frontal

Fuente: (Bcnvision, 2017)

- **Ventajas:**

- Elimina sombras

- Se puede utilizar a grandes distancias cámara/objeto.
- Inconvenientes:
 - Intensos reflejos sobre superficies reflectantes.

c) Software

El Sistema de Control de Calidad se lo realiza mediante Visión Artificial utilizando el programa NI LabVIEW por ser uno de los programas más robusto y posee una interfaz de programación gráfica interactiva con el usuario. Se utilizó la versión de 32 bits porque permite la instalación de los paquetes:

- NI Vision Acquisition
- Ni Vision Development Module

NI Vision Acquisition permite adquirir, visualizar y guardar imágenes, mientras Ni Vision Development Module permite realizar configuraciones de parámetros como elegir el tipo de cámara y opciones de edición de contraste, focus, etc. Este módulo es indispensable en aplicaciones de visión artificial y fácil de implementar pero hay que tener en cuenta que una mala configuración de la cámara provocaría fallos en la captura de imágenes

Otro modulo esencial es el Datalogging and Supervisory Control Module (DSC) permite el control de supervisión y adquisición de datos (SCADA), como la comunicación con los controladores lógicos programables convencionales, controladores de automatización programables y crear interfaces hombre-máquina (HMI).

- **Etapas de Procesamiento de Imagen en Visión Artificial**

A continuación se detalla las herramientas más utilizadas para el diseño del control de calidad en su respectiva etapa: (National Instruments Corporation, 2019)

- **Adquisición y Reprocesamiento de imagen**
 - **IMAQdx Open Camera:** Abre una cámara, consulta las capacidades de la cámara, carga un archivo de configuración de la cámara y crea una referencia única.

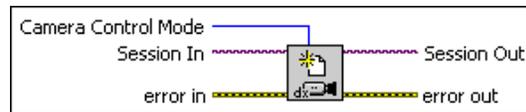


Figura 61. IMAQdx Open Camera

- **IMAQdx Configure Grab:** Configura y comienza una adquisición de grabado que se repite continuamente en un anillo de búferes. Utilice el VI grab para la adquisición de imágenes de alta velocidad.

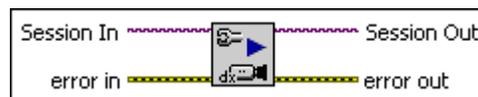


Figura 62. IMAQdx Configure Grab

- **IMAQdx Grab:** Adquiere el fotograma más actual de la imagen de salida. Si el tipo de imagen no coincide con el formato de video de la cámara, este VI cambia el tipo de imagen a un formato adecuado.

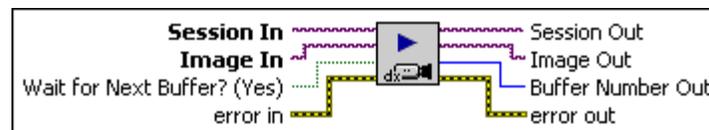


Figura 63. IMAQdx Grab

- Segmentación y Representación de Imagen

- **IMAQ Create Vi:** Crea una ubicación de memoria temporal para una imagen.

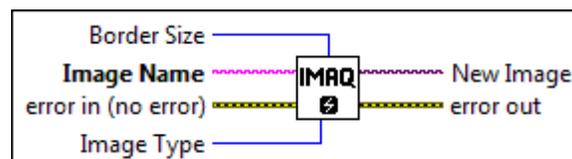


Figura 64. IMAQ Create Vi

- **IMAQ Resample Vi:** Reajusta una imagen a un tamaño definido por el usuario. Puede utilizar este VI para mostrar una imagen reducida o ampliada.

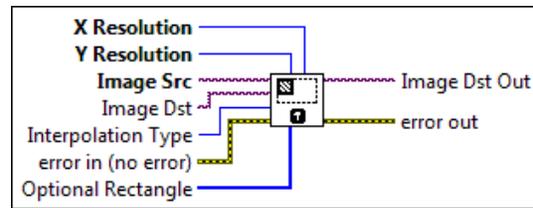


Figura 65. IMAQ Resample VI

- **IMAQ Copy VI:** Copia las especificaciones y los píxeles de una imagen en otra imagen del mismo tipo. Puede usar esta función para conservar una copia original de una imagen



Figura 66. IMAQ Copy Vi

- **IMAQ ExtractSingleColorPlane:** Extrae un solo plano de la imagen a color.

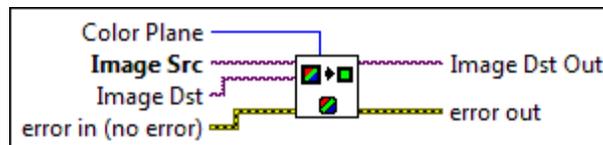


Figura 67. IMAQ ExtractSingleColorPlane

- **IMAQ Convolute:** Filtra una imagen utilizando un filtro lineal. Los cálculos se realizan con enteros o puntos flotantes, según el tipo de imagen y el contenido del kernel.

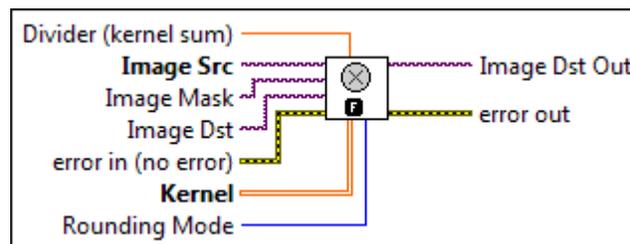


Figura 68. IMAQ Convolute

- Reconocimiento e Interpretación de Imagen

- **IMAQ Clamp Vertical Max VI:** Mide una distancia en la dirección vertical, permite la localización de los bordes a lo largo de un conjunto

de líneas de búsqueda paralelas y se determinan en función de su contraste y pendiente.

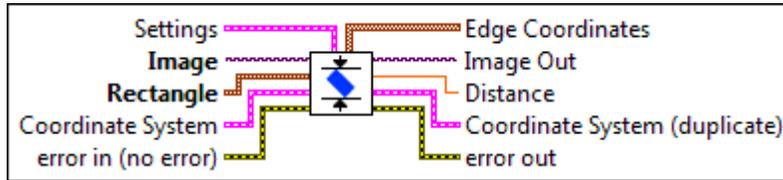


Figura 69. IMAQ Clamp Vertical Max VI

- **IMAQ Clamp Horizontal Max VI:** Mide una distancia en la dirección horizontal, permite la localización de los bordes a lo largo de un conjunto de líneas de búsqueda paralelas y se determinan en función de su contraste y pendiente.

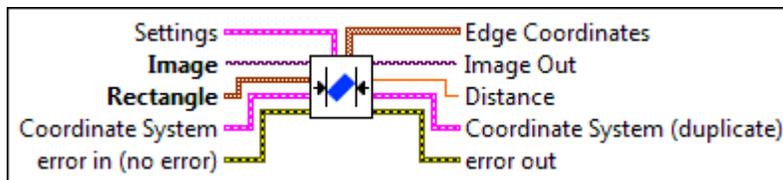


Figura 70. IMAQ Clamp Horizontal Max VI

3.5.2. Sistema de Control de Calidad en LabVIEW

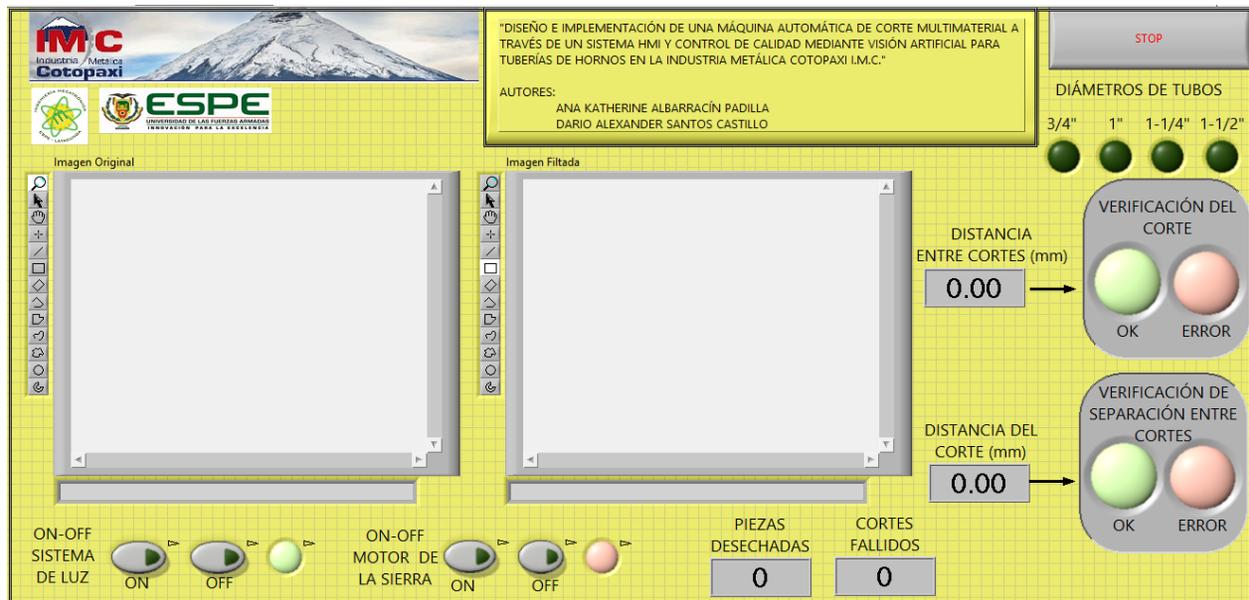


Figura 71. Panel Frontal de LabVIEW

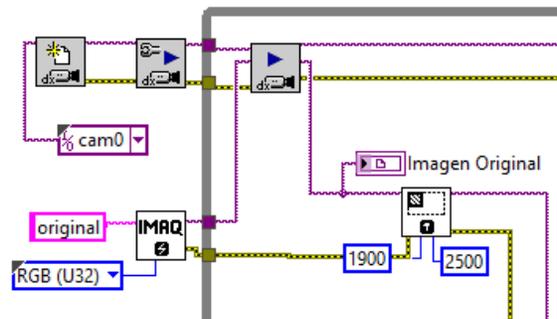


Figura 72. Adquisición y Reprocesamiento de imagen

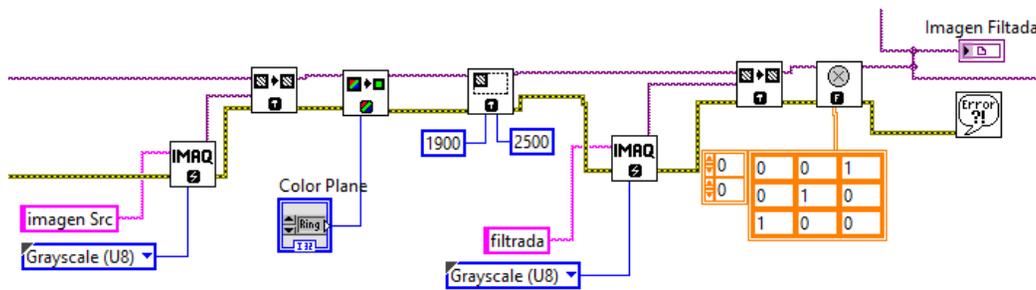


Figura 73. Segmentación y Representación de Imagen

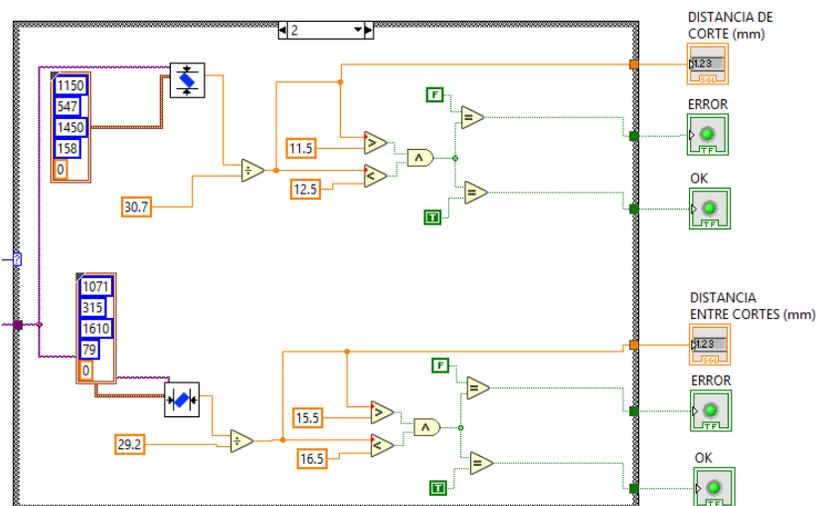


Figura 74. Reconocimiento e Interpretación de Imagen

CAPÍTULO IV

CONSTRUCCIÓN, ACOPLAMIENTO E IMPLEMENTACIÓN DE LA MÁQUINA

Al tener la selección de todos los elementos y componentes que va a conformar la maquina se procede a detallar toda la construcción mecánica e implementación de sistemas eléctricos, electrónicos y de control, que permiten la automatización del proceso de semi-corte y corte completo de cañerías para hornos industriales.

4.1. CONSTRUCCIÓN DE LOS SISTEMAS MECÁNICOS

Al tener el diseño CAD de la estructura de la máquina con sus respectivos materiales seleccionados por sus grandes ventajas y tomando en consideración la disponibilidad de los mismo en la empresa, se procede a la construcción de los elementos, montaje y ensamble de todo el sistema que conforman la máquina

Los elementos que constituyen la máquina son:

- Estructura base
- Panel de mando
- Mesa para la traslación del tubo
- Mesa para salida del material
- Caballetes
- Sistema de ascenso y descenso de la cierra
- Gripper móvil y estático
- Filtrado y almacenamiento del refrigerante

4.1.1. Estructura base

Debido a que la base con la que vino la máquina no cumplía con nuestro diseño para su respectiva automatización se procedió a desmontar dicha base y construir una nueva.



Figura 75. Desmontado de la base

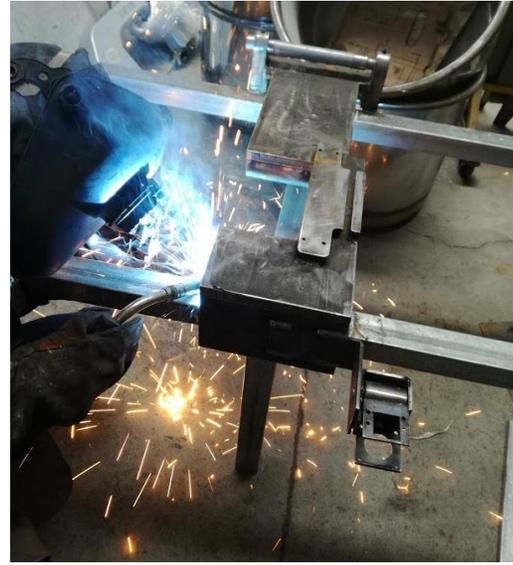


Figura 76. Construcción de la nueva base



Figura 77. Montaje y Pintado de la Estructura Base

4.1.2. Panel de mando

Es un elemento principal que debe tener una maquina automatizada para el acoplamiento de la pantalla HMI elegida, facilitando el manejo, seguridad al operador y fácil maniobrabilidad. Se debe analizar el mejor sitio para su ubicación.



Figura 78. Cubierta del panel de mando



Figura 79. Estructura Panel de Mando



Figura 80. Montaje de la pantalla HMI y Botoneras en la estructura del panel de mando



Figura 81. Montaje del panel de mando en la estructura de la mesa

4.1.3. Mesa para la traslación del tubo

Esta mesa cumple la función de facilitar el movimiento del tubo mediante 9 rodillos distribuidos uniformemente. En la cual se acoplo un tornillo de potencia y soportes lineales donde se monta el gripper móvil para la respectiva traslación del mismo.



Figura 82. Construcción de la mesa con rodillos



Figura 83. Pintado de la mesa



Figura 84. Acoplamiento del tornillo de potencia, soportes lineales y gripper móvil para la mesa



Figura 85. Montaje de la mesa de traslación del tubo en la estructura base

4.1.4. Mesa para salida del material

Se construye una mesa similar a la anterior lo único que cambia es que tiene 5 rodillos distribuidos uniformemente y su función es para sostener el material cortado.



Figura 86. Montaje de la mesa de salida del tubo en la estructura.

4.1.5. Caballetes

Debido a que la longitud del tubo que se va a cortar es de 6 metros y para que la parte de alimentación de la máquina no sea muy grande se realizan 6 caballetes con rodillos que sirve para ayudar a la movilidad del tubo los cuales pueden ser guardados al no utilizarlos, ahorrando el espacio físico de trabajo.



Figura 87. Corte de tubo estructural para construcción de rodillos.



Figura 88. Construcción de caballetes y acoplamiento de rodillos.



Figura 89. Montaje de rodillos al sistema de alimentación.

4.1.6. Sistema de ascenso y descenso de la cierra

Se construyó un mecanismo de ascenso y descenso (tornillo de potencia) para el sistema de corte que permita obtener una precisión correcta en el corte la misma que tiene un bajo costo en su implementación. Este sistema consta de dos rodillos acoplados entre la estructura de la cierra y en la mesa base



Figura 90. Construcción de los rodillos

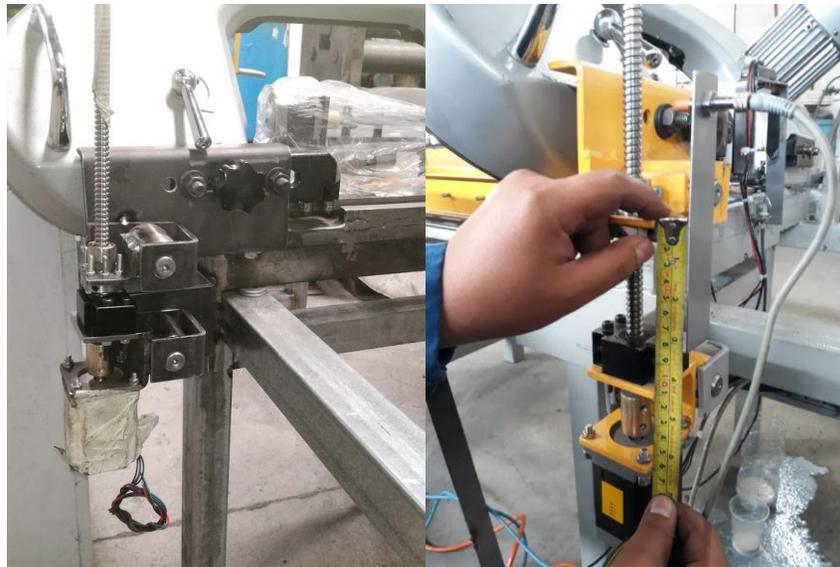


Figura 91. Acoplamiento del sistema de ascenso y descenso de corte

4.1.7. Gripper Móvil y Estático

La función del gripper móvil es para la traslación del tubo de 6 metro hacia el gripper estático que sirve para el apriete y posicionamiento del material a cortar. Estos están contruidos de la misma manera, constan de un tornillo de potencia acoplado al motor, dos pinzas de acero realizadas en la cortadora de hilo al igual que una T para el deslizamiento de las mismas y dos soportes a los extremos.



Figura 92. Construcción y Ensamblaje de los grippers en los soportes lineales y Tornillo de Potencia



Figura 93. Acoplamiento del gripper móvil en la mesa de translación del tubo



Figura 94. Acoplamiento del gripper estático en la mesa base

4.1.8. Soporte para la cámara

Para la construcción de este soporte se tomó en cuenta el alcance de la cámara donde se obtuvo una imagen clara de los cortes.



Figura 95. Soporte para la cámara

4.1.9. Filtrado y almacenamiento del refrigerante

4.2. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL ELÉCTRICO

Al conocer todos los elementos eléctricos y sus respectivas características se realiza la implementación del tablero de control eléctrico, seleccionando las protecciones y cableado adecuado para evitar fallas futuras.

4.2.1. Tablero de Control

El tablero de control consta de un PLC que es el controlador, un módulo de salidas digitales de relé 2A, una fuente de 24V y 20A, protecciones, luz piloto, borneras de conexión para tablero, selector de energizado de potencia y drivers.



Figura 96. Tablero de control

4.2.2. Cableado de Motores

Tenemos cuatro motores Nema lo que están acoplados a un tornillo de potencia y conectado a un driver para el control del motor mediante los pulsos que envía el PLC.

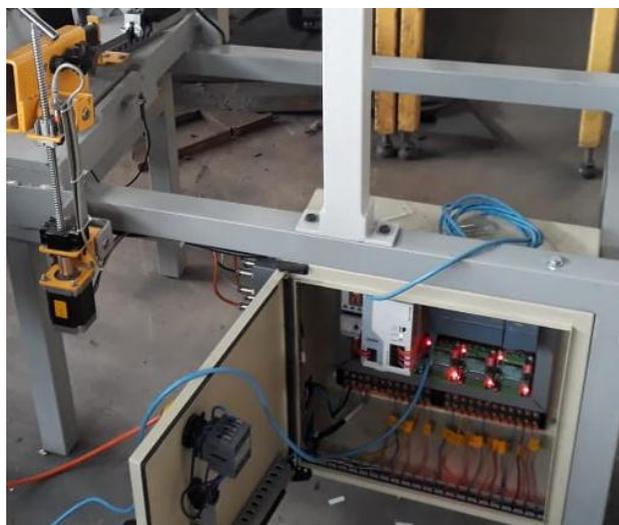


Figura 97. Motor del ascenso y descenso de la cierra



Figura 98. Motor para la traslación del material



Figura 99. Motor del gripper móvil

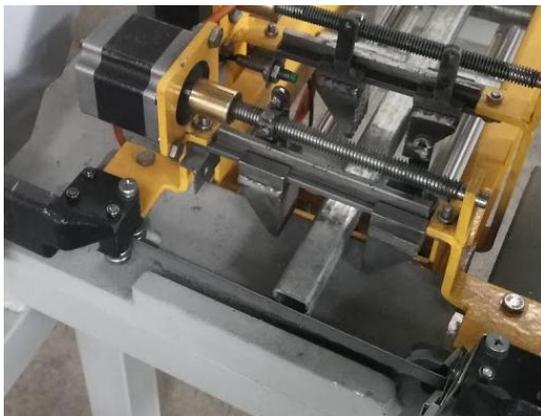


Figura 100. Motor del gripper estático



Figura 101. Energizado de Tablero

4.2.3. Pantalla HMI

En el diseño del HMI se configura el Touch Panel DOP-B03E211 para darle una dirección IP y poder realizar una interfaz ETHERNET a través de un switch entre la pantalla, PC y PCL.

Los softwares TIA Portal y LabVIEW son los que se utilizaron para el control y el software DOPSoft para el diseño del HMI.

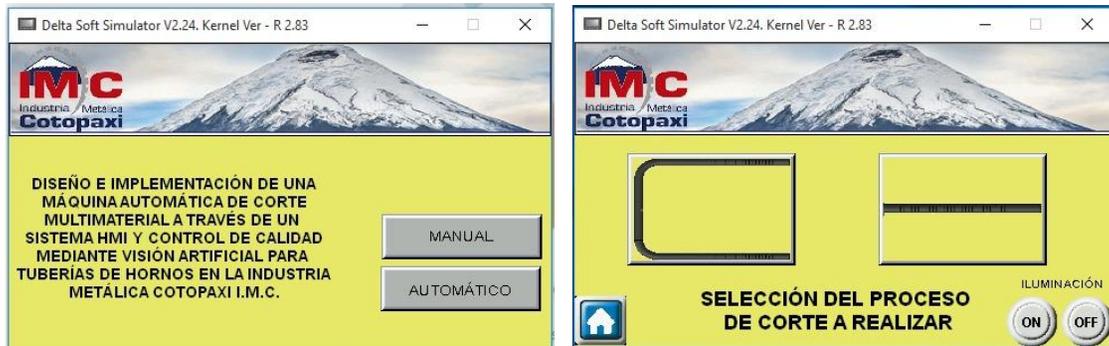


Figura 102. Pantallas principales del proceso manual y automático



Figura 103. Pantallas de posicionamiento manual y automático



Figura 104. Pantallas de control manual y automático

4.2.4. Cableado de Sensores

Se tiene 6 sensores inductivos que se dividen en:

- Sensor del material
- Sensor de posicionamiento de la cierra
- Sensor de posicionamiento gripper móvil
- Sensor de posicionamiento gripper estático
- Sensores de posicionamiento y seguridad para el traslado del material



Figura 105. Sensor del material

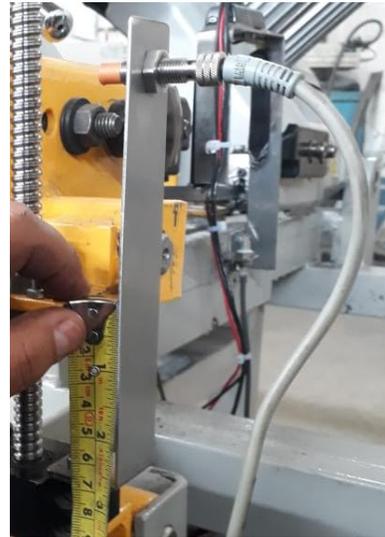


Figura 106. Sensores de posicionamiento de la Sierra



Figura 107. Sensores para Posicionamiento del motor de traslación



Figura 108. Sensor de posicionamiento gripper móvil



Figura 109. Sensor de posicionamiento gripper estático



Figura 110. Conector de sensores

4.3. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL DE CALIDAD

4.3.1. Implementación de la cámara e sistema de iluminación

Se ubicó la cámara a una altura adecuada del proceso de semi-corte y se implementó un sistema de iluminación que permitió la adquisición de una imagen clara para proceder a su respectivo procesamiento en el software LabVIEW.



Figura 111. Cámara y sistema de iluminación

4.3.2. Programación en el software LabVIEW

Mediante este software se realiza las mediciones del diámetro del tubo, ancho y distancia entre semi-cortes, cuyos datos son analizados para garantizar un producto de calidad.



Figura 112. Tubería ¾ pulgada



Figura 113. Tubería 1 pulgada



Figura 114. Tubería 1¼ pulgada



Figura 115. Tubería 1½ pulgada

4.3.3. Comunicación con Servidor OPC

Al concluir la parte de programación en el TIA Portal, se procede a la comunicación de LabVIEW y PLC mediante el servidor OPC con la creación de los Tags.

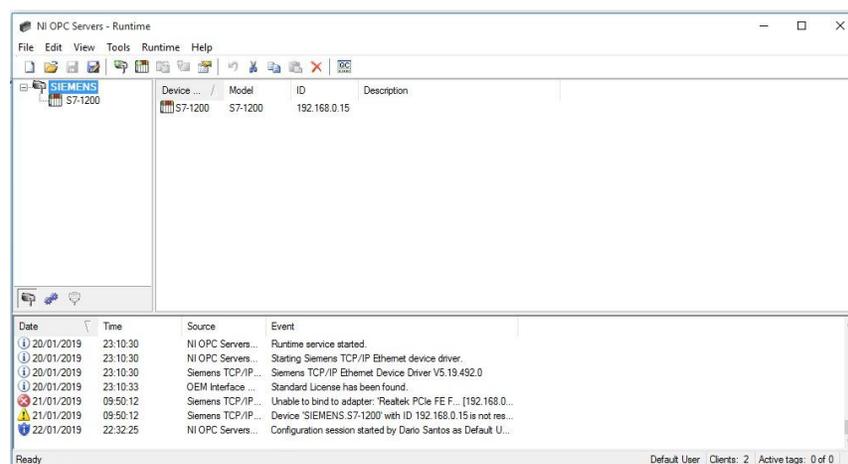


Figura 116. Servidor OPC

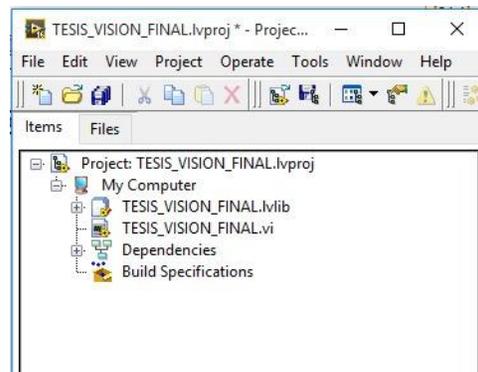


Figura 117. Búsqueda de Tags a la que se va a vincular

CAPITULO V

ANÁLISIS, PRUEBAS Y RESULTADOS

5.1. VALIDACIÓN DE HIPÓTESIS

5.1.1. HIPÓTESIS

¿Mediante la automatización de la máquina de corte multimaterial por serrado de tubos se contribuirá a mejorar la calidad de corte y optimizar el tiempo de producción de la Industria Metálica Cotopaxi I.M.C.?

5.1.2. VARIABLES DE LA INVESTIGACIÓN

a) Variables Independientes

Máquina automática de corte multimaterial.

b) Variables Dependientes

Mejora de la calidad de corte (serrado) y optimización de tiempo de producción.

5.2. COMPROBACIÓN DE HIPÓTESIS

Tabla 21

Análisis de tiempo de corte: Aluminio

Aluminio		
Diámetro de la cañería (pulg)	Tiempo Automático (min)	Tiempo Manual (min)
3/4	11.5	23
1	12	25
1 1/4	13.5	26
1 1/2	14.6	30

Tabla 22

Análisis de tiempo de corte: Acero Negro

Acero negro		
Diámetro de la cañería (pulg)	Tiempo Automático (min)	Tiempo Manual (min)
3/4	12.7	30
1	13	40
1 1/4	14	41
1 1/2	15	43

Tabla 23

Análisis de tiempo de corte: Acero Galvanizado

Acero galvanizado		
Diámetro de la cañería (pulg)	Tiempo Automático (min)	Tiempo Manual (min)
3/4	12.9	31
1	14	41
1 1/4	14.9	42
1 1/2	15.4	44

Tabla 24

Análisis de tiempo de corte: Acero Inoxidable

Acero inoxidable		
Diámetro de la cañería (pulg)	Tiempo Automático (min)	Tiempo Manual (min)
3/4	13.5	32
1	14.8	42
1 1/4	15.3	43
1 1/2	16	45

Obtenidos los tiempo de corte de la cañería de los diferentes tipos de material y diámetros, tanto en forma automática como manual se realiza una comparación gráfica (Ver Figura 118 y Figura 119), teniendo en cuenta una constante de 64 que será el número de cortes.

Se observa una gran diferencia de tiempos como es en el aluminio que es el material más suave; en forma manual para un tubo de 3/4 se demora 23 minutos mientras que en forma automática 11,5 minutos, para el acero inoxidable de 1 1/2 que es un material duro se demora en forma manual 45 minutos y en forma automática 16min, concluyendo que mediante la automatización de este proceso se disminuyó en más de la mitad el tiempo de corte de la cañería en forma manual.

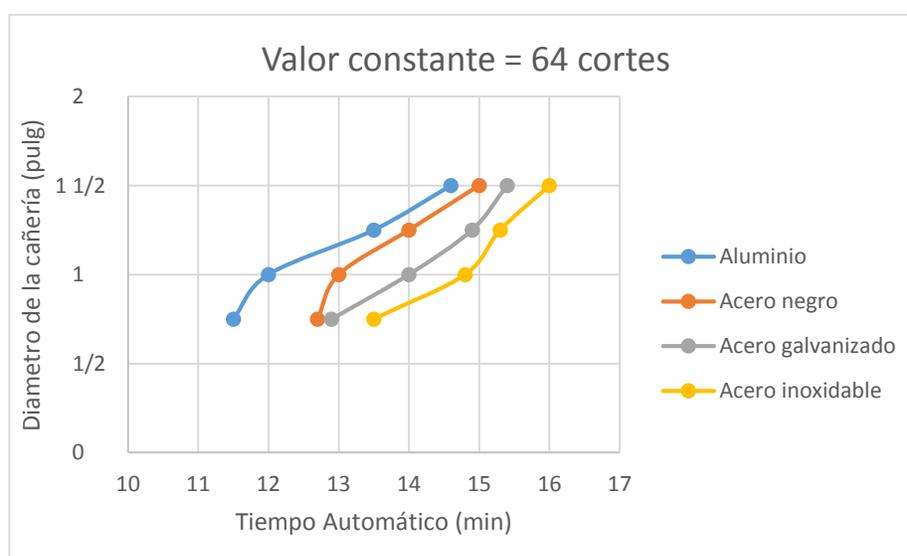


Figura 118. Análisis del tiempo de corte sistema automático

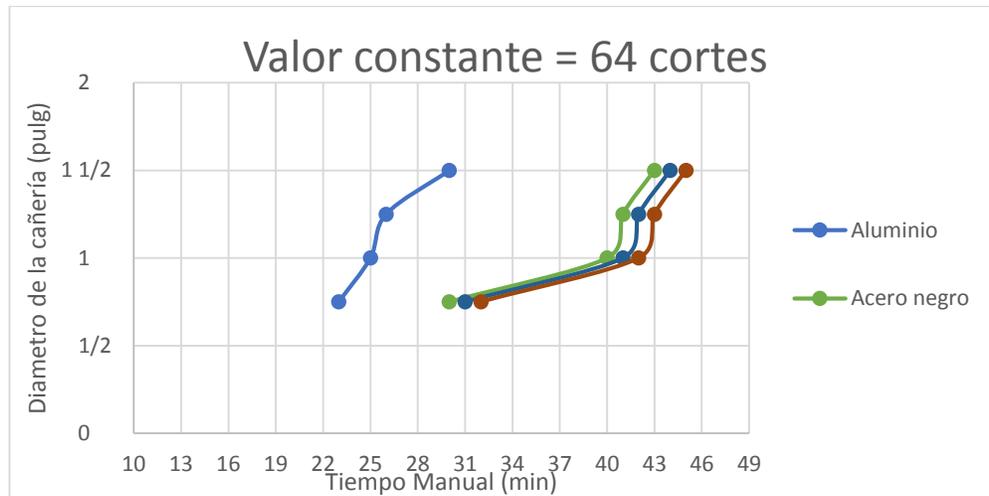


Figura 119. Análisis del tiempo de corte sistema manual

De igual manera se realiza la comparación entre la forma manual y automática de los GPM en función de la longitud de corte del tubo de 1pulg (Ver Figura 120 y Figura 121), que es el más utilizado en la empresa para la realización de hornos industriales. Para obtener los golpes por minuto se basó en el libro (Serope Kalpakjian, 2002), el cual hace referencia que una cortadora sierra de cinta genera 180 GPM para aceros al carbonó, por lo que se verifica cuantos cortes realiza la maquina en 1min obteniendo un resultado de 5 cortes.

Con esos datos se obtiene que la máquina de corte realiza 36 GPM siendo un valor que no varía mientras que para el corte realizado con una sierra manual los GPM variar dependiendo de la fuerza del trabajador, cansancio físico y la longitud de corte depende de la inclinación de la sierra.

Se puede observar además la diferencia que existe al realizar el corte con una sierra automática que con una sierra manual ya que existen altos y bajos en las GPM en forma manual que no permiten obtener una longitud de corte correcta al tener un error de $\pm 0,5$.

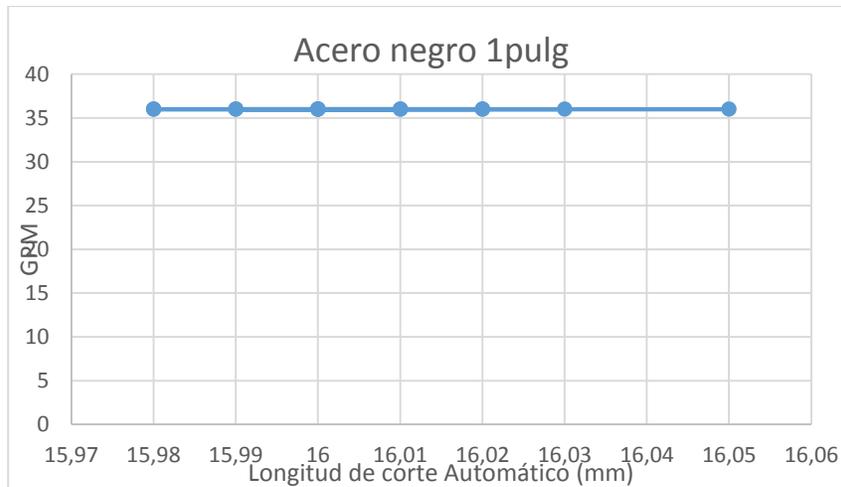


Figura 120. Análisis de la longitud del corte sistema automático

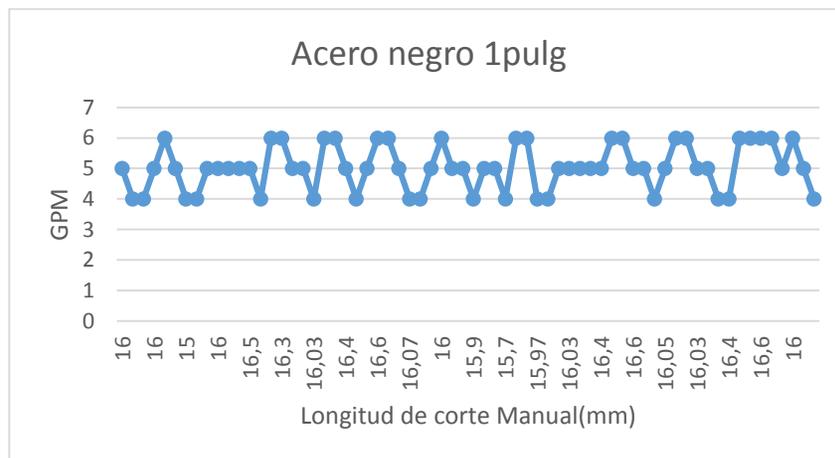


Figura 121. Análisis de la longitud del corte sistema manual

Para verificar la calidad de corte que realiza la máquina automatizada se toman los valores mediante una cámara tanto de la longitud de corte como la distancia entre corte del tubo de acero negro de 1plg. Como se observa en la figura 122 y 123 respectivamente, las que consta con una curva real e ideal para un corte perfecto, obteniendo un margen de error de $\pm 0,3$ y $\pm 0,5$, los cual son aceptable para la salida y distribución del gas de las cañerías industriales.

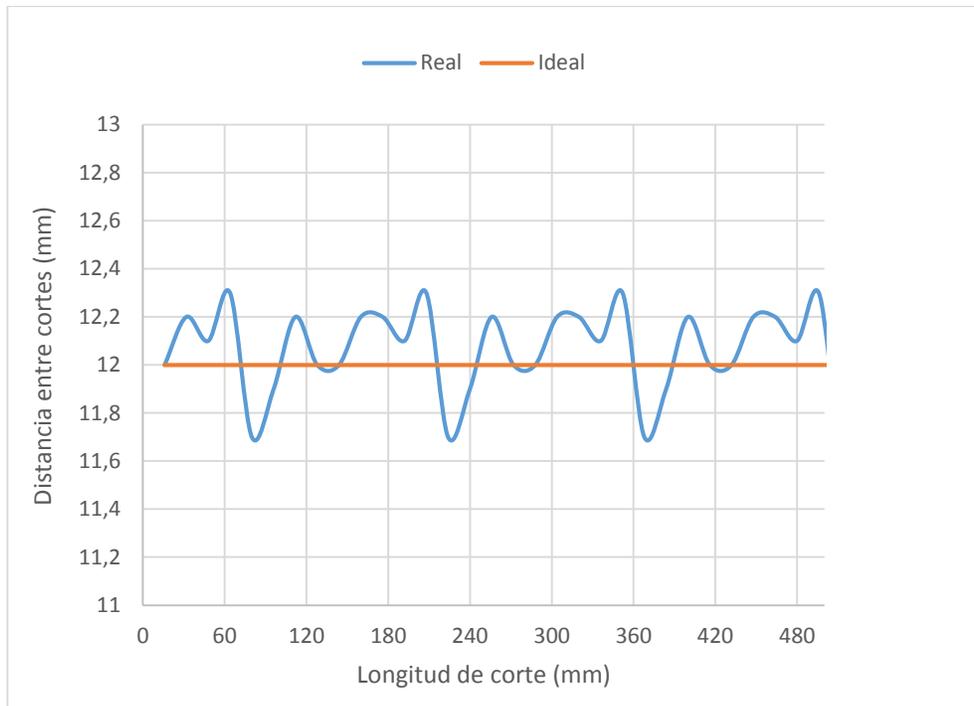


Figura 122. Análisis de la distancia entre corte sistema automático

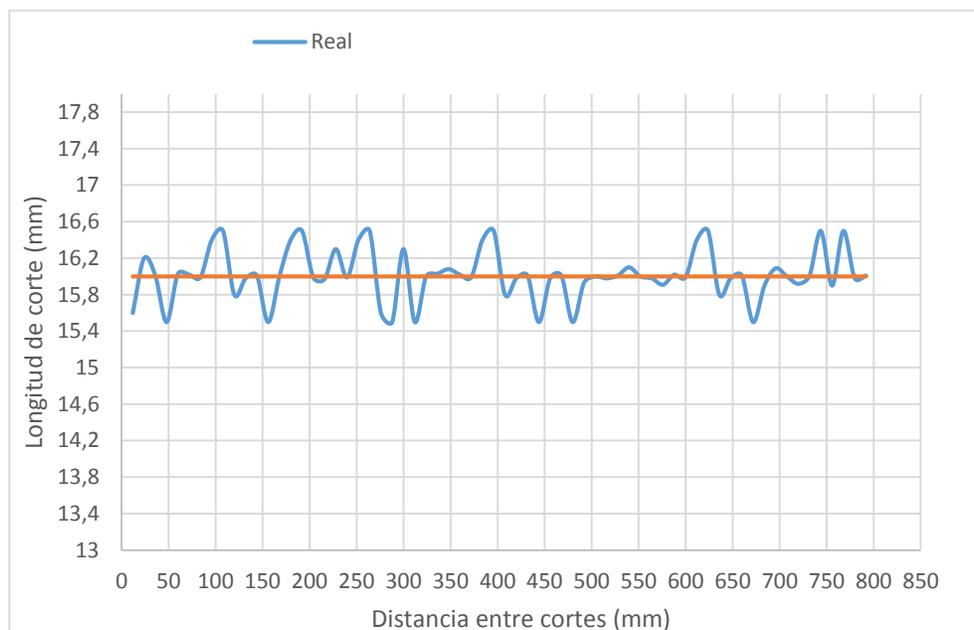


Figura 123. Análisis de la longitud de corte sistema automático

Mediante la Figura 123 se realiza una comparación del número de cortes malos realizados al día en forma manual como automática, dando como resultado que la

maquina automática elevaba la producción en un 60%, siendo esta herramienta fundamental para la empresa gracias a su proceso de automatización.

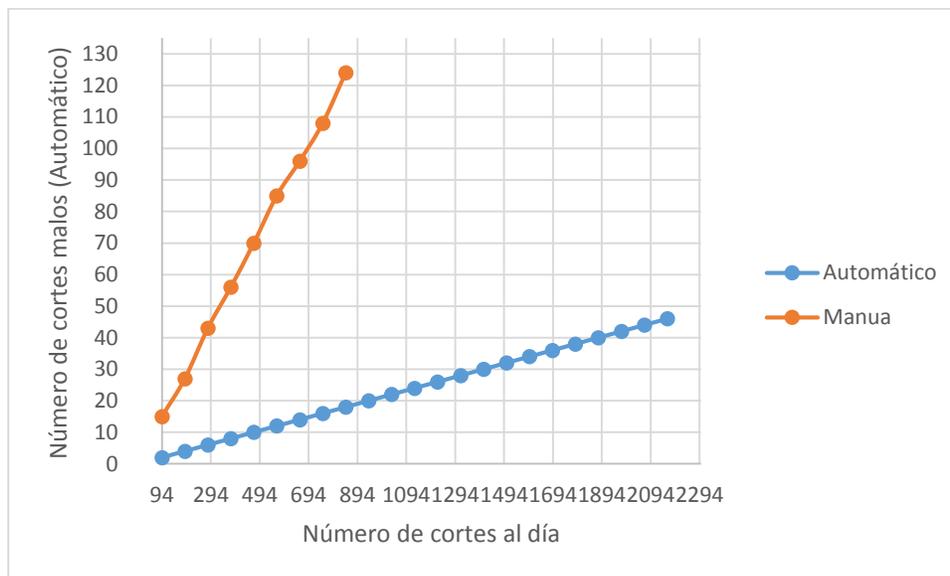


Figura 124. Análisis de corte al día manual automático

5.3. VALIDACIÓN DE LA HIPÓTESIS

Según (Gavidia, 2019), el método estadístico del Chi-cuadrado (χ^2) es muy útil para comprobar la existencia de la relación entre las variables dependientes e independientes de la hipótesis, relacionando la diferencia entre el conjunto de frecuencias observadas (f_o) en la muestra y el conjunto de frecuencias teóricas y esperadas (f_e) de la misma.

5.3.1. Prueba de tiempos de producción

Para realizar esta comprobación se toma el tiempo que se demora el trabajador y la máquina automática en realizar una cañería de 1 pulg de acero negro que consta de 66 semi-cortes, siendo esta la más utilizada por la empresa.

Tabla 25

Valores de frecuencias obtenidas (f_o)

Forma	Número de cortes de una cañería	Tiempo de corte (min)	Total
Manual	66	40	106
Automático	66	13	79
Total	132	53	185

Para la comprobación de esta hipótesis se trabaja con un nivel de confianza del 99%, cuyo nivel de significancia es de 0.01. El número de grados de libertad (n), se calcula mediante la ecuación (28).

$$n = (\#f - 1).(\#c - 1) \quad \text{Ec. 28}$$

Donde:

$\#f$ =Números de filas

$\#c$ =Números de columnas

$$n = (2 - 1).(2 - 1)$$

$$n = 1$$

De acuerdo a la tabla del Chi-cuadrado crítico (ver Figura 149), da un valor de $x^2_{crítico} = 6,63$

A continuación, se procede a formular la hipótesis nula (H_0) y la hipótesis de trabajo (H_1).

H_0 (Nula): Parámetros Independientes ($x^2_{calculado} < x^2_{crítico}$)

¿Mediante la automatización de la máquina de corte multimaterial por serrado de tubos no se contribuirá a optimizar el tiempo de producción de la Industria Metálica Cotopaxi I.M.C.?

H1 (Alternativa): Parámetros no Independientes ($\chi^2_{calculado} > \chi^2_{crítico}$)

¿Mediante la automatización de la máquina de corte multimaterial por serrado de tubos se contribuirá a optimizar el tiempo de producción de la Industria Metálica Cotopaxi I.M.C.?

De acuerdo a la tabla del Chi-cuadrado crítico (ver Figura 124), da un valor de $\chi^2_{crítico} = 6,63$

v/p	0,001	0,0025	0,005	0,01	0,025	0,05
1	10,8274	9,1404	7,8794	6,6349	5,0239	3,8415
2	13,8150	11,9827	10,5965	9,2104	7,3778	5,9915
3	16,2660	14,3202	12,8381	11,3449	9,3484	7,8147
4	18,4662	16,4238	14,8602	13,2767	11,1433	9,4877
5	20,5147	18,3854	16,7496	15,0863	12,8325	11,0705
6	22,4575	20,2491	18,5475	16,8119	14,4494	12,5916

Figura 125. Tabal de Distribución Chi-cuadrado
Fuente: (Gavidia, 2019)

Posteriormente se realiza la tabla de contingencia (Tabla 26) aplicando la siguiente ecuación.

$$\chi^2_{calculado} = \sum \frac{(f_o - f_e)^2}{f_e} \quad \text{Ec. 29}$$

Donde:

f_o = Frecuencia del valor observado

f_e = Frecuencia del valor esperado

Tabla 26*Calidad del producto final tiempo (fo)*

ALTERNATIVAS	f_0	f_e	$f_0 - f_e$	$(f_0 - f_e)^2$	$\frac{(f_0 - f_e)^2}{f_e}$
Tiempo de corte automático de un tubo de 3/4	66	75,63	-9,63	92,73	1,23
Tiempo de corte automático de un tubo de 1	66	56,36	9,64	92,73	1,64
Tiempo de corte automático de un tubo de 1 1/4	40	30,37	9,63	92,73	3,05
Tiempo de corte automático de un tubo de 1 1/2	13	22,63	-9,63	92,73	4,09
TOTAL					$x^2_{\text{calculado}} = 10,02$

$$x^2_{\text{calculado}} > x^2_{\text{crítico}}$$

$$10,02 > 6,63$$

Se procede a la comprobación de Chi-cuadrada con el valor calculado, siendo mayor el valor calculado, lo que significa que se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa, representa que mediante la automatización de la máquina de corte

multimaterial por serrado de tubos se contribuirá a optimizar el tiempo de producción en la Industria Metálica Cotopaxi I.M.C.

5.3.2. Prueba de calidad

Para comprobar la calidad del producto final se realiza la comparación del número de cortes realizados en el día por un trabajador y la máquina automática, obteniendo también el número de cortes fallidos.

Tabla 27

Calidad del producto final cortes (fo)

Forma	Número de cortes al día	Cortes fallidos	Total
Manual	846	124	970
Automático	2162	46	2208
Total	3008	170	3178

Datos:

$$\alpha=0,01$$

$$n=1$$

$$x^2_{crítico} = 6,63$$

A continuación, se procede a formular la hipótesis nula (H_0) y la hipótesis de trabajo (H_1).

H_0 (Nula): Parámetros Independientes ($x^2_{calculado} < x^2_{crítico}$)

¿Mediante la automatización de la máquina de corte multimaterial por serrado de tubos no se contribuirá a mejorar la calidad de corte en la Industria Metálica Cotopaxi I.M.C.?

H1 (Alternativa): Parámetros no Independientes ($x^2_{calculado} > x^2_{crítico}$)

¿Mediante la automatización de la máquina de corte multimaterial por serrado de tubos se contribuirá a mejorar la calidad de corte en la Industria Metálica Cotopaxi I.M.C.?

Tabla 28

Tabla de contingencia. Calidad

ALTERNATIVAS	f_0	f_e	$f_0 - f_e$	$(f_0 - f_e)^2$	$\frac{(f_0 - f_e)^2}{f_e}$
Número de cortes al día Manual	846	918,1	-72,1	5198,4	5,66
Número de cortes al día Automático	2162	2089,9	72,1	5198,4	2,49
Número de cortes fallidos Manual	124	51,89	72,1	5198,4	100,18
Número de cortes fallidos Automático	46	118,1	-72,1	5198,4	44,05
TOTAL					$x^2_{calculado} = 152,38$

$$x^2_{calculado} > x^2_{crítico}$$

$$152,38 > 6,63$$

Se procede a la comprobación de Chi-cuadrada con el valor calculado, siendo mucho mayor el valor calculado, lo que significa que se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa, representa que mediante la automatización de la máquina de corte multimaterial por serrado de tubos se contribuirá a mejorar la calidad de corte para tubos de diferentes materiales y diámetros.

CAPITULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. CONCLUSIONES

- Se diseñó e implementó un sistema automático de corte multimaterial a través de un sistema HMI y control de calidad mediante visión artificial para tuberías de hornos en la Industria Metálica Cotopaxi obteniendo como resultado un producto de buena calidad, la reducción de tiempo de trabajo 40 minutos a 13 minutos, elevando la producción en un 60% e incremento en la precisión de los cortes.
- Se diseñó y modelo el sistema de alimentación automática multimaterial a través del software Solidworks que permite obtener mejores resultados en diseño de CAD en 3D y evaluar los diseños mediante simulación antes de enviarlos a producción.
- Se implementó un control de avance (distancia entre cortes) de 12mm logrando una mejor precisión en el corte, tomando como referencia al tubo de 1 pulgada que es el más utilizado para la realización de las cañerías de hornos de la empresa. Según los datos tomados y representados en la Figura 122, el sistema automático redujo la tolerancia del avance de $\pm 0.8\text{mm}$ que se tenía en forma manual a $\pm 0.3\text{mm}$.
- Mediante la implementación del sistema de corte para la profundidad, se logró una mejor precisión del corte (longitud del corte), tomando como referencia al tubo de 1 pulgada. Según los datos tomados y representados en la Figura 122, el sistema automático tiene una tolerancia de $\pm 0.5\text{mm}$ y en forma manual $\pm 1\text{mm}$, tomando en cuenta que la longitud del corte es directamente proporcional a la profundidad del mismo.

- El sistema de corte automático eliminó las etapas de señalización y corte manual, disminuyendo tiempos de corte comparados gráficamente en las Figuras 118 y 119, el cual varía en función del diámetro y el material.
- Al implementar el sistema de corte automático se logró optimizar el material en un 5% al ingresar un tubo de 6 metros que será cortado automáticamente en comparación a la forma manual.
- Se implementó un sistema de control de calidad permite la verificación de las distancias entre cortes y la longitud del mismo, además el sistema determina el diámetro de tubería a emplearse para poder realizar su procesamiento digital.
- La iluminación es un elemento primordial en el sistema de reconocimiento y medición, ya que la máquina puede ser trasladada de un lugar a otro por lo tanto el sistemas de luz ambiente puede variar, esto provocaría fallos no y permitir exaltar los detalles de los cortes.
- Para el sistema del control eléctrico se utilizó el Software Tia Portal V14 ya que nos permite configurar de forma intuitiva-eficiente todos los procesos de producción y ofrece un entorno de ingeniería unificado para todas las tareas de control, visualización y accionamiento, mientras que para el sistema de control de calidad del producto se utilizó el Software LabVIEW el cual mediante el módulo NI Vision Development nos permite desarrollar aplicaciones de visión artificial con poderosas funciones para procesamiento de visión.
- El servidor OPC de LabVIEW nos permitió realizar la integración de cualquier sistema de control basados en PLC's, mediante Tia Portal y LabVIEW obtenemos un sistema de control más eficiente al tener monitoreo en tiempo real del proceso de corte.

6.2. RECOMENDACIONES

- Para el sistema de apriete de grippers se recomienda sustituir los motores paso a paso por uno de mayor capacidad, para lograr obtener un mejor apriete.
- Para que el sistema sea más eficiente en el corte se recomienda colocar un rodillo que presione a la tubería al momento de traslado del mismo.
- Para lograr obtener una mejor precisión en los cortes se recomienda implementar una mejor cámara.
- Utilizar otra técnica de iluminación, ya que la implementada genera muchos reflejos y en ocasiones provoca mediciones erróneas en el procesamiento de imagen.
- Instalar la versión de 32 bits para el software de LabVIEW, porque la mayoría de paquetes o módulos se encuentran disponibles solo para esa versión.
- Realizar un mantenimiento periódico de los tornillos de potencia, primordialmente en el tornillo de traslado y corte de material.
- Seleccionar un PLC S7-1200 con una CPU 1214c AC/DC/RLY, y añadir un módulo de salidas Digitales para así abaratar costos en su adquisición.
- Elegir una fuente de voltaje independiente solo para los motores paso a paso.
- Poseer protecciones eléctricas individuales, una para el sistema de Potencia y otra para el Sistema Digital.
- Utilizar gafas, guantes y tapones de oído para el manejo de la máquina.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

KYE System Corp. (2019). *Genius*. Recuperado el 30 de Noviembre de 2018, de <http://bit.ly/2WoR4qc>

AutomationDirect. (2007). *SureStep*. Recuperado el 20 de Junio de 2018, de <http://bit.ly/2MzkXzO>

BandSawHub. (2016). Recuperado el 27 de Febrero de 2018, de <http://bit.ly/2WmjNw8>

Bcnvision. (2017). *Visión Artificial*. Recuperado el 1 de Diciembre de 2018, de <http://bit.ly/2CMCiki>

Cienciamatik. (2018). *PracticaCiencia.com*. Recuperado el 8 de Marzo de 2018, de <http://bit.ly/2G58GBK>

Delta Electronics. (2019). *Delta*. Recuperado el 30 de Marzo de 2018, de <http://bit.ly/2Td0XWg>

DIEEC. (2017). *Ingeniería de Sistemas Industriales*. Recuperado el 20 de Marzo de 2018, de <http://bit.ly/2G8xQ2m>

Direct Industry. (2018). *El Salón Online de la Industria*. Recuperado el 8 de Marzo de 2018, de <http://bit.ly/2ReNKud>

ELECTRONILAB. (2015). *Ingeniería y Diseño Electrónico*. Recuperado el 25 de Marzo de 2018, de <http://bit.ly/2Hx7WrD>

Escalona, I. (2009). *Máquinas Herramientas por Arranque de Viruta*. (E. C. Editor, Ed.)
1a.Ed.

- Galbarro, H. R. (2018). *Ingemecánica*. Recuperado el 15 de Marzo de 2018, de <http://bit.ly/2DCFVe7>
- Garcia y Juaregui. (2013). Recuperado el 28 de Febrero de 2019, de <http://bit.ly/2sSfSt6>
- Gavidia, U. F. (5 de Enero de 2019). *Comprobación de hipótesis*. Obtenido de <http://bit.ly/2S9dvk5>
- Groover, M. P. (1997). *Fundamentos de Manufactura Moderna*. México D.F.: 1a. Ed.
- INDUSTRIA SIEMENS. (2009). *SIEMENES*. Recuperado el 20 de Marzo de 2018, de <https://sie.ag/2B6dJ1E>
- Instituto Nacional de Tecnología Industrial. (2005). *ISSUU*. Recuperado el 30 de Junio de 2018, de <http://bit.ly/2Rhry2w>
- Kibbe, R. R. (2002). *Manual de máquinas herramientas*. Limusa S.A.
- MICOR. (2018). Obtenido de <http://www.micor.se/es/soporte-tecnico/velocidad-de-corte/>
- MIPSA. (2015). *Metales Industriales de Puebla*. Recuperado el 15 de Marzo de 2018, de <http://bit.ly/2TiJknM>
- Mott, R. L. (2006). *Diseño de Elementos de Máquinas*. (P. Education, Ed.) México D.F.: 4ta.Ed.
- National Instruments Corporation. (2019). *NATIONAL INSTRUMENTS*. Recuperado el 15 de Abril de 2018, de <http://bit.ly/2RUhBgs>
- Peña y Ortega. (2013). *Desmontaje y separación de elementos fijos. TMVL0309*. IC Editorial.

Phoenix Contact. (2018). Recuperado el 20 de Noviembre de 2018, de <http://bit.ly/2RUK0Do>

Recurstic. (18 de Marzo de 2018). Obtenido de <http://bit.ly/2WmjQYF>

Richard G. Budynas, J. Keith Nisbett. (2012). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*. México D.F.: 9a. Ed.

Robert Bosch GmbH. (2018). *BOSCH Innovación para tu vida*. Recuperado el 10 de Marzo de 2018, de <http://bit.ly/2sNambv>

Robokits, D. (2019). *Robokits*. Recuperado el 18 de Noviembre de 2018, de <http://bit.ly/2Tgdisl>

Rodríguez, P. (2010). *Diseño de Interfaces Hombre - Máquina (HMI)*. Valdivia.

Secretaria Nacional de Planificación y Desarrollo. (2017). *Plan Nacional del Buen Vivir*. Recuperado el 7 de Marzo de 2019, de <http://bit.ly/2UjbH5p>

Serope Kalpakjian, S. R. (2002). *Manufactura, ingeniería y tecnología*. En S. R. Serope Kalpakjian.

Taunton's. (2012). *Guide to Bandsaws*. Recuperado el 20 de Febrero de 2018, de <http://bit.ly/2G1svdi>

UPNA. (2017). *Universidad Pública de Navarra*. Recuperado el 22 de Marzo de 2018, de <http://bit.ly/2DDXPgH>

Vasquez, G. (2016). *Ingeniería en Automática Industrial*. Recuperado el 10 de Abril de 2018, de <http://bit.ly/2HBssrb>

Vélez, Moreno, Sánchez y Sánchez. (2003). *Visión por computador*. Dykinson, S.L.

Zambrano, Parra, Manrique y Bustacara. (2007). *Redalyc.org*. Recuperado el 3 de Abril de 2018, de <http://bit.ly/2Up8Hoj>

Zapata, A. (2017). Recuperado el 28 de Febrero de 2018, de <http://bit.ly/2W11h77>

ANEXOS



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

CERTIFICACIÓN

Se certifica que el presente trabajo fue desarrollado por los señores **Santos Castillo, Dario Alexander** y **Albarracín Padilla, Ana Katherine**.

En la ciudad de Latacunga, a los 28 días del mes de enero del 2019.

Ing. Héctor Terán
DIRECTOR DEL PROYECTO

Ing. Vicente Hallo
DIRECTOR DE CARRERA

Dr. Rodrigo Vaca
SECRETARIO ACADÉMICO

Aprobado por: