



ESPE

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA**

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

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

**TESIS PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:
INGENIERO EN MECATRÓNICA**

**TEMA: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MÓDULO
ACADÉMICO DE INTERACCIÓN HOMBRE – MÁQUINA PARA
LA REHABILITACIÓN DE LA CIZALLA EDWARDS TRUECUT
3.25 mm MODELO 600**

AUTORES:

RIVERA GUTIÉRREZ, GIOTTO ANTONIO

ORMAZA NIETO, EDGAR AUGUSTO

DIRECTOR: ING. SEGURA, LUIS

CODIRECTOR: ING. GÓMEZ, ALEJANDRO

SANGOLQUÍ

2015.

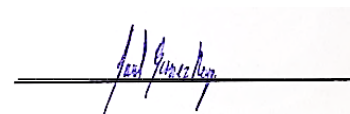
CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO

El proyecto “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MÓDULO ACADÉMICO DE INTERACCIÓN HOMBRE – MÁQUINA PARA LA REHABILITACIÓN DE LA CIZALLA EDWARDS TRUECUT 3.25 mm MODELO 600” fue realizado en su totalidad por Giotto Antonio Rivera Gutiérrez y Edgar Augusto Ormaza Nieto, como requerimiento parcial para la obtención del título de Ingeniero Mecatrónico.



Ing. Luis Segura

DIRECTOR



Ing. Alejandro Gómez


CODIRECTOR

Sangolquí, 2015-10-20


AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MÓDULO ACADÉMICO DE INTERACCIÓN HOMBRE – MÁQUINA PARA LA REHABILITACIÓN DE LA CIZALLA EDWARDS TRUECUT 3.25 mm MODELO 600”

ELABORADO POR:




Giotto Antonio Rivera Gutiérrez



Edgar Augusto Ormaza Nieto

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA



Ing. Francisco Terneus

Director de la Carrera de Ingeniería Mecatrónica



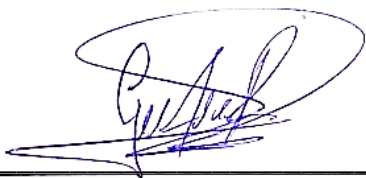
Sangolquí, 2015-10-20

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

AUTORIZACIÓN

Nosotros: Giotto Antonio Rivera Gutiérrez y Edgar Augusto Ormaza Nieto

Autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE la publicación, en la biblioteca virtual de la institución del proyecto de grado titulado “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MÓDULO ACADÉMICO DE INTERACCIÓN HOMBRE – MÁQUINA PARA LA REHABILITACIÓN DE LA CIZALLA EDWARDS TRUECUT 3.25 mm MODELO 600” cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.



Giotto Antonio Rivera Gutiérrez



Edgar Augusto Ormaza Nieto

Sangolquí, 2015-10-20

DEDICATORIA

Este Proyecto de Tesis es dedicado a Dios y a Jesucristo que es mi Señor y Salvador, a mis padres José Amable Rivera y Martha Gutiérrez, a mis hermanos Ana, Dalsao y Karina, a mis sobrinos Joel y Luis quienes desde que empecé mis estudios muy lejos de casa siempre estuvieron presentes en cada paso que di.

GIOTTO ANTONIO RIVERA GUTIÉRREZ

El presente proyecto este dedicado para todas aquellas personas que en el futuro cercano utilicen la presente máquina rehabilitada y al buen uso que de esta le puedan dar.

EDGAR AUGUSTO ORMAZA NIETO

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios porque gracias a su bendición me dio la oportunidad de haber culminado con éxito este proyecto de tesis y cumplir una meta más en mi vida, a mi padre José Amable Rivera Cueva quien desde que fui muy niño me compartió y enseñó el amor por el área técnica, la mecánica, la electricidad, hizo crecer en mí ese interés por siempre tratar de reparar las cosas u objetos, de siempre intentarlo uno mismo, gracias a él puedo decir que tuve la inclinación hacia una Ingeniería, a mi madre Martha Victoria Gutiérrez Viñán, quién a todos mis hermanos y a mí nos enseñó lo que es el amor a Dios, a vivir en el caminar de Él, a cada paso que demos siempre confiar en Él, a mis hermanos agradecerles porque todos han sido benevolentes conmigo, a mi hermana Ana Rivera, quien me enseñó el amor hacia los estudios, a mi hermana Karina Rivera, quien me apoyó a lo largo de mi carrera, quien siempre estuvo pendiente de mí, que decir de ella siempre ha sido muy buena, a mi hermano Dalsao Rivera quien supo brindarme las palabras idóneas para salir adelante, para no darme por vencido, agradezco a mis sobrinos Joel y Luis por el apoyo incondicional, a mi tía Gloria Rivera quien me acogió cuando recién llegué a Quito, agradezco a nuestros directores, los Ingenieros Luis Segura y Alejandro Gómez, por permitirnos terminar el proyecto con éxito, agradezco a Don Nelson Cárdenas e Ing. Roberty Velasco, que brindaron todas las facilidades en el laboratorio y finalmente agradezco a todos mis amigos, primos y tíos que de una u otra forma permitieron que se culmine este proyecto.

GIOTTO ANTONIO RIVERA GUTIÉRREZ

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mi papá Polivio Williams Ormaza Jaramillo, a mi mamá Lucrecia Noemi Nieto Separovich, a mis hermanos Alicia Noemi Ormaza Nieto, Williams Patricio Ormaza Nieto y Emily Stefania Ormaza Nieto por su apoyo incondicional a lo largo de este proyecto de tesis y proyecto de vida.

De igual manera a la Srta. Gabriela Ayala por colaboración en el presente escrito, a Don Nelson Cárdenas e Ing. Roberty Velasco por su apoyo en el laboratorio de Máquinas – Herramientas.

De todo corazón muchas gracias.

EDGAR AUGUSTO ORMAZA NIETO

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO.....	ii
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD	iii
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA.....	iv
AUTORIZACIÓN.....	iv
DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTO	vi
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	viii
RESUMEN.....	xx
ABSTRACT	xx
1. CAPÍTULO 1.....	22
1.1. Introducción.....	22
1.2. Antecedentes.....	22
1.3. Definición del problema.	24
1.4. Objetivos.	25
1.4.1. General.	25
1.4.2. Específicos.....	25
1.5. Justificación e Importancia.....	26
1.6. Alcance.....	26
1.7. Estructura de Documento.	27
2. CAPÍTULO 2.....	31
2.1. Máquinas – Herramientas.....	31
2.2. Cizalla Mecánica.	31
2.3. Estructura de la cizalla.....	32
2.3.1. Bancada.	32
2.3.2. Bastidor.	33
2.3.3. Mesa.	34
2.3.4. Pisón.	34

2.3.5.	Porta Cuchilla o Corredera.	35
2.3.6.	Cuchilla Móvil.	36
2.3.7.	Cuchilla Fija.	36
2.3.8.	Dispositivos de Accionamiento.	37
2.3.9.	Sistema electro – mecánico.	37
2.4.	Parámetros que hacen posible un corte.	39
2.4.1.	Cálculo de fuerza de corte para cizallas con cuchillas paralelas.	41
2.4.2.	Cálculo de fuerza de corte para cizallas con cuchillas inclinadas.	43
2.4.3.	Análisis de la cizallabilidad y superficie de fractura.	47
2.4.4.	Herramientas para corte por cizallamiento.	49
2.5.	Mecanismo disponible en la cizalla Edwards.	58
2.6.	Parámetros eléctricos a considerar.	65
2.6.1.	Curva característica en Arranque Directo.	66
2.6.2.	Curva característica en arranque estrella – delta ($\lambda - \Delta$).	68
2.7.	Pérdidas en cajas reductoras.	70
2.7.1.	Pérdidas por excesivo lubricante.	70
2.7.2.	Reducción de pérdidas.	71
2.8.	Interfaz Humano – Máquina (HMI).	72
3.	CAPÍTULO 3.	74
3.1.	Desarrollo de la función de calidad (QFD).	74
3.2.	Especificación del producto.	81
4.	CAPÍTULO 4.	83
	DISEÑO CONCEPTUAL.	83
4.1.	Estructura funcional.	83
4.2.	Modularidad del equipo.	84
5.	CAPÍTULO 5.	86
5.1.	Identificación de los Requerimientos limitadores.	86
5.2.	Alternativas de diseño y materialización preliminar.	87
5.2.1.	Módulo I.	87
5.2.2.	Módulo II.	98
5.2.3.	Módulo III.	108

5.2.4.	Módulo IV	113
5.3.	Evaluación y selección de las alternativas de diseño preliminar.	120
5.3.1.	Módulo I.....	121
5.3.2.	Módulo II.....	126
5.3.3.	Módulo III.....	133
5.3.4.	Módulo IV	136
5.4.	Diseño de materialización definitivo.....	141
5.5.	Diseño de Detalle.	142
5.5.1.	Módulo I	143
5.5.2.	Módulo II.....	148
5.5.3.	Módulo III.....	157
5.5.4.	Módulo IV	160
6.	CAPÍTULO 6.....	164
6.1.	Módulo I.....	164
6.2.	Módulo II.....	168
6.3.	Módulo III.....	170
6.4.	Módulo IV	171
7.	CAPÍTULO 7.....	173
7.1.	Análisis de Costos	173
7.1.1.	Costos Directos	173
7.1.2.	Costos Indirectos.....	175
7.1.3.	Costos Totales.....	176
8.	CAPÍTULO 8.....	178
8.1.	Conclusiones.....	178
8.2.	Recomendaciones.....	179

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Resistencia a la cizalladura.....	41
Tabla 2. Parámetros técnicos para el afilado	53
Tabla 3. Selección del acero.	57
Tabla 4. Requerimientos Limitadores	86
Tabla 5. Características del Sensor Inductivo.	88
Tabla 6. Ventajas y desventajas del Sensor Inductivo.....	88
Tabla 7. Especificaciones Técnicas del Sensor Capacitivo.	89
Tabla 8. Ventajas y Desventajas Sensor Capacitivo.....	90
Tabla 9. Especificaciones Técnicas del Sensor de Efecto Hall.....	91
Tabla 10. Ventajas y Desventajas del Sensor de Efecto Hall.....	91
Tabla 11. Características del Sensor Laser.....	92
Tabla 12. Ventajas y desventajas del Sensor Laser.	92
Tabla 13. Características del Sensor Fotoeléctrico.....	94
Tabla 14. Ventajas y Desventajas Sensor Fotoeléctrico.	94
Tabla 15. Características del Encoder.....	95
Tabla 16. Ventajas y Desventajas Sensor Fotoeléctrico.	95
Tabla 17. Características Encoder Lineal.	97
Tabla 18. Ventajas y Desventajas Encoder Lineal.	97
Tabla 19. Características Sensor Ultrasónico.	98
Tabla 20. Ventajas y Desventajas Sensor Ultrasónico.	98
Tabla 21. Características del PLC.....	100
Tabla 22. Ventajas y desventajas del PLC.	100
Tabla 23. Características de Arduino.....	101
Tabla 24. Ventajas y desventajas de Arduino.	102
Tabla 25. Características de Raspberry Pi.	103
Tabla 26. Ventajas y Desventajas de Raspberry Pi	103
Tabla 27. Características de UDOO.	104
Tabla 28. Ventajas y desventajas de UDDO.	105
Tabla 29. Características RFID 13.56 MHz.	106
Tabla 30. Ventajas y Desventajas RFID 13.56 MHz.	106
Tabla 31. Características de Wiegand.....	107
Tabla 32. Ventajas y desventajas de Wiegand.	107

Tabla 33. Características del Regulador de Voltaje 7824.	108
Tabla 34. Ventajas y Desventajas del Regulador de Voltaje 7824.	109
Tabla 35. Características de Convertidores aislados CC/CC 75W.	110
Tabla 36. Ventajas y desventajas de Convertidores aislados CC/CC 75W.	110
Tabla 37. Características del Relé Electromecánico.	111
Tabla 38. Ventajas y desventajas del Relé Electromecánico.	111
Tabla 39. Características del Relé de estado Sólido.	112
Tabla 40. Ventajas y desventajas del Relé de estado Sólido.	112
Tabla 41. Características del Opto acoplador	113
Tabla 42. Ventajas y desventajas del Opto acoplador.	113
Tabla 43. Características del Touch – Panel.	114
Tabla 44. Ventajas y desventajas del Touch – Panel.	114
Tabla 45. Características de la Pantalla táctil LCD.	115
Tabla 46. Ventajas y desventajas de la Pantalla táctil LCD.	116
Tabla 47. Características del display de 7 segmentos.	117
Tabla 48. Ventajas y desventajas del display de 7 segmentos.	117
Tabla 49. Características del LCD.	118
Tabla 50. Ventajas y desventajas del LCD.	118
Tabla 51. Características de la Baliza.	119
Tabla 52. Ventajas y desventajas de la baliza.	119
Tabla 53. Características de los Indicadores Tipo Torre.	120
Tabla 54. Ventajas y desventajas de los indicadores luminosos.	120
Tabla 55. Criterios de Ponderación.	121
Tabla 56. Criterio de Precisión en el análisis de las posibles soluciones.	122
Tabla 57. Criterio de Costo en el análisis de las posibles soluciones.	122
Tabla 58. Criterio de Mantenimiento en el análisis de las posibles soluciones.	122
Tabla 59. Conclusiones.	122
Tabla 60. Criterios de Ponderación.	123
Tabla 61. Criterio de Repetitividad y Precisión en el análisis de las posibles soluciones.	123
Tabla 62. Criterio de Costo en el análisis de las posibles soluciones.	124
Tabla 63. Criterio de Costo en el análisis de las posibles soluciones.	124
Tabla 64. Conclusiones.	124

Tabla 65. Criterios de Ponderación.....	125
Tabla 66. Criterio de Costo en el análisis de las posibles soluciones.	125
Tabla 67. Criterio de Tipo de Protección en el análisis de las posibles soluciones.	125
Tabla 68. Criterio de Temperatura de trabajo en el análisis de las posibles soluciones.	126
Tabla 69. Conclusiones.....	126
Tabla 70. Criterios de Ponderación.....	127
Tabla 71. Criterio de Facilidad de Uso en el análisis de las posibles soluciones...	127
Tabla 72. Criterio de Costo en el análisis de las posibles soluciones.	127
Tabla 73. Criterio de Mantenimiento en el análisis de las posibles soluciones.	128
Tabla 74. Conclusiones.....	128
Tabla 75. Criterios de Ponderación.....	129
Tabla 76. Criterio de Implementación en el análisis de las posibles soluciones. ...	129
Tabla 77. Criterio de Costo en el análisis de las posibles soluciones.	129
Tabla 78. Criterio de Diseño Compacto en el análisis de las posibles soluciones.	130
Tabla 79. Conclusiones.....	130
Tabla 80. Criterios de Ponderación.....	131
Tabla 81. Criterio de protocolo de comunicación en el análisis de las posibles soluciones.	131
Tabla 82. Criterio de Temperatura en el análisis de las posibles soluciones.....	131
Tabla 83. Criterio de Frecuencia de trabajo en el análisis de las posibles soluciones.	132
Tabla 84. Conclusión.....	132
Tabla 85. Criterios de Ponderación.....	133
Tabla 86. Criterio de Tensión de salida en el análisis de las posibles soluciones.	133
Tabla 87. Criterio de Corriente Máxima de salida en el análisis de las posibles soluciones.	133
Tabla 88. Criterio de Temperatura de Trabajo en el análisis de las posibles soluciones.	134
Tabla 89. Conclusión.....	134
Tabla 90. Criterios de Ponderación.....	135
Tabla 91. Criterio de Fácil Implementación en el análisis de las posibles soluciones.	135

Tabla 92. Criterio de Corriente en el análisis de las posibles soluciones.....	135
Tabla 93. Criterio de Robustez en el análisis de las posibles soluciones.....	136
Tabla 94. Conclusión.....	136
Tabla 95. Criterios de Ponderación.....	137
Tabla 96. Criterio de Colores en el análisis de las posibles soluciones.....	137
Tabla 97. Criterio de Resolución en el análisis de las posibles soluciones.....	137
Tabla 98. Criterio de Comunicación en el análisis de las posibles soluciones.	137
Tabla 99. Conclusión.....	138
Tabla 100. Criterios de Ponderación.	138
Tabla 101. Criterio de Solidez en el análisis de las posibles soluciones.	138
Tabla 102. Criterio de Luminosidad en el análisis de las posibles soluciones.....	139
Tabla 103. Criterio de Fácil Montaje en el análisis de las posibles soluciones.....	139
Tabla 104. Conclusión.....	139
Tabla 105. Criterios de Ponderación.....	140
Tabla 106. Criterio de Material en el análisis de las posibles soluciones.	140
Tabla 107. Criterio de Temperatura en el análisis de las posibles soluciones.....	140
Tabla 108. Criterio de Protección en el análisis de las posibles soluciones.....	140
Tabla 109. Conclusión.....	141
Tabla 110. Especificaciones técnicas del Arduino Mega.....	149
Tabla 111. Especificaciones Técnicas PLC TWIDO TWDLCAA24DRF	152
Tabla 112. Pruebas de posición de la regla de tope.....	167
Tabla 113. Costos de Materiales Mecánicos.....	174
Tabla 114. Costos Materiales Eléctricos y Electrónicos.	174
Tabla 115. Costo de Fabricación y ensamblaje.	175
Tabla 116. Costos de Mano de Obra Indirecta.	175
Tabla 117. Costo Materiales indirectos.	176
Tabla 118. Costos Operativos.....	176
Tabla 119. Costos totales.	177
Tabla 120. Espesores de Materiales a Cortar	180

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Máquinas – Herramientas	31
Figura 2. Cizalla EDWARDS TRUE CUT 3.25 mm	32
Figura 3. Bancada	33
Figura 4. Bastidor.	33
Figura 5. Mesa y otros componentes	34
Figura 6. Pisón	34
Figura 7. Ubicación Porta Cuchilla	35
Figura 8. Porta Cuchilla o Corredera.....	35
Figura 9. Cuchilla móvil.....	36
Figura 10. Cuchilla Fija.	36
Figura 11. Cuchilla.....	37
Figura 12. Dispositivos de Accionamiento	37
Figura 13. Motor Eléctrico.....	38
Figura 14. Caja Reductora	38
Figura 15. Mecanismo Biela – Manivela.	39
Figura 16. Cizalla con Cuchillas paralelas.....	39
Figura 17. Cizalla con cuchillas inclinadas	40
Figura 18. Corte por cizallamiento	41
Figura 19. Superficie de Cizallado	42
Figura 20. Sección de cizallado	43
Figura 21. Comportamiento de la Fuerza a medida que se corta el material.....	44
Figura 22. Sección triangular de cizallado constante	44
Figura 23. Sección de cizallado triangular.....	45
Figura 24. Cizallabilidad vs Fragilidad del material	47
Figura 25. Superficie de fractura.....	48
Figura 26. Cizallabilidad del acero.	48
Figura 27. Superficies libres	49
Figura 28. Ángulos y juego entre las cuchillas.	50
Figura 29. Fuerzas de Cizallado	51
Figura 30. Consecuencias de juego excesivo	51
Figura 31. Rectificadora – Afiladora CNC MVM FX 20.....	52
Figura 32. Ubicación de las piedras afiladoras.....	53
Figura 33. Ángulos a considerar para el afilado.	54
Figura 34. Plataforma electromagnética CNC MVM FX 20	55

Figura 35. Corona porta – segmentos abrasivos	55
Figura 36. Panel de Control	56
Figura 37. Tratamiento Térmico del acero K105	58
Figura 38. Mecanismo biela – manivela	59
Figura 39. Análisis del mecanismo mediante vectores	59
Figura 40. Cambio de nombre a los vectores.....	61
Figura 41. Desplazamiento del Pistón.....	63
Figura 42. Velocidad del Pistón.	65
Figura 43. Curva de Intensidad (I).....	66
Figura 44. Curva de Torque (M)	67
Figura 45. Curva de Intensidad (I).....	68
Figura 46. Curva de Torque (M)	69
Figura 47. Lubricación por inmersión	71
Figura 48. Sistema HMI.	72
Figura 49. TIA PORTAL.....	72
Figura 50. Wonderware Intouch.....	73
Figura 51. Touch Panel programado con Vijeo Designer.	73
Figura 52. Demandas de los Usuarios.	74
Figura 53. Análisis de la competencia.....	76
Figura 54. La voz del Ingeniero.....	77
Figura 55. Correlaciones.....	78
Figura 56. Evaluación técnica	78
Figura 57. Compromisos técnicos.....	79
Figura 58. Casa de la calidad aplicada al proyecto.	80
Figura 59. Estructura Funcional.	84
Figura 60. Sensor Capacitivo.....	87
Figura 61. Sensor Capacitivo.....	89
Figura 62. Sensores de Efecto Hall.....	90
Figura 63. Sensor Laser	91
Figura 64. Sensor Fotoeléctrico	93
Figura 65. Codificador Rotatorio	95
Figura 66. Encoder Lineal.....	96
Figura 67. Sensor Ultrasónico.....	97
Figura 68. PLC TWIDO.....	99
Figura 69. Arduino	101

Figura 70. Raspberry Pi.....	103
Figura 71. UDOO.....	104
Figura 72. RFID 13.56 [MHz]	105
Figura 73. Wiegand	107
Figura 74. Regulador de Voltaje 7824.....	108
Figura 75. Convertidores aislados CC/CC 75W	109
Figura 76. Relé Electromecánico	110
Figura 77. Relé de estado sólido	112
Figura 78. Opto acoplador	113
Figura 79. Touch-Panel Magelis HMI STU – 855.....	114
Figura 80. Pantalla táctil LCD	115
Figura 81. Display 7 segmentos.....	116
Figura 82. LCD	117
Figura 83. Baliza.....	118
Figura 84. Indicador Industrial Tipo Torre.	119
Figura 85. Diagrama Modular de Funcionamiento.	142
Figura 86. Circuito Barrera Laser.....	143
Figura 87. Ubicación de Conectores en la Tarjeta de Control.	144
Figura 88. Ubicación de la Barrera Laser en la cizalla	145
Figura 89. Sensor Inductivo	145
Figura 90. Ubicación de Conectores en la Tarjeta de Control	146
Figura 91. Ubicación del Sensor Inductivo en la cizalla.....	147
Figura 92. Diagrama Funcional.....	147
Figura 93. Ubicación de Conectores en la Tarjeta de Control.	148
Figura 94. Ubicación del Encoder en la cizalla.....	148
Figura 95. Tarjeta Arduino Mega 2560.....	149
Figura 96. Distribución de Pines de Control Arduino Mega 2560.	150
Figura 97. Conexiones al Arduino Mega 2560.	151
Figura 98. PLC TWIDO TWDLCAA24DRF	152
Figura 99. Diagrama de Conexiones con otros Elementos de la Máquina.	155
Figura 100. RFID 13.56 MHz	156
Figura 101. Conexiones al Arduino Mega 2560.	156
Figura 102. Ubicación del RFID en la cizalla.....	157
Figura 103. Diagrama eléctrico de la Fuente de Alimentación.	157
Figura 104. Ubicación de Conectores en la Tarjeta de Control.	158

Figura 105. Modelo 3D de la Fuente de Voltaje diseñada.....	158
Figura 106. Relé Electromecánico.	159
Figura 107. Conexiones del Relé Electromecánico.....	159
Figura 108. Touch – Panel Schneider HMI STU 855.	160
Figura 109. Display de 7 segmentos.....	161
Figura 110. Diagrama de conexión de los displays.	161
Figura 111. Ubicación de Conectores en la Tarjeta de Control.	162
Figura 112. Ubicación de los displays en la cizalla.	162
Figura 113. Baliza.....	163
Figura 114. Ubicación de la baliza en la cizalla.....	163
Figura 115. Sensores Laser en funcionamiento.....	165
Figura 116. Cizalla detenida y señal detectada en el PLC.	165
Figura 117. Espesor de tol mayor a 2.5 [mm], y señal detectada en el PLC.	166
Figura 118. Regla de tope cuya posición es sensada por el encoder rotacional. ...	166
Figura 119. Longitud visualizada en los displays (errónea) con respecto a la que se midió con el flexómetro.	167
Figura 120. Arduino MEGA 2560 en la tarjeta de control.	168
Figura 121. Visualización de medidas en [mm] y [pulg.].....	169
Figura 122. PLC encendido correctamente.....	169
Figura 123. Fuente de Alimentación.	170
Figura 124. Touch – Panel en correcto funcionamiento.	170
Figura 125. Funcionamiento del Relé.	171
Figura 126. Ventanas del Touch – Panel.	172
Figura 127. Displays de 7 segmentos en funcionamiento.	172
Figura 128. Baliza en funcionamiento.	172
Figura 129. Caja de Control de la cizalla no funcional.	195
Figura 130. Cableado de caja de control.	195
Figura 131. Cableado de caja de Control en su totalidad.....	196
Figura 132. Ubicación y prueba de sensores laser.	196
Figura 133. Ubicación del fin de carrera que limita el recorrido de la cuchilla de la cizalla.	196
Figura 134. Maquinado de Acoples para el encoder y topes para los fines de carrera.	197
Figura 135. Fabricación de la Tarjeta de Control (Placa de circuito impreso).....	197

Figura 136. Tarjeta de Control finalizada lista para proceder a soldar los componentes.	198
Figura 137. Componentes soldados y ubicados en la tarjeta de control.....	198

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Lista de especificaciones del equipo	81
Cuadro 2. Modularidad del Equipo.....	85
Cuadro 3. Cuadro explicativo de conexiones de las entradas.....	153
Cuadro 4. Cuadro explicativo de conexiones de las salidas.....	154

RESUMEN

Este proyecto consiste en la rehabilitación de una máquina cizalladora Edwards Truecut 3,25 [mm] y del diseño de su interfaz hombre-máquina, perteneciente al Laboratorio de Procesos de Manufactura del Departamento de Ciencias de Energía y Mecánica de la Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE.

La máquina fue rehabilitada después de estar en desuso, rediseñando algunos circuitos obsoletos y poniéndola a punto para su operación, tiene claramente diferenciadas la parte de control de mandos con la parte de potencia eléctrica, además de la implementación de sensores que facilitan el manejo y seguridad de la máquina. Mediante el diseño e implementación de la interfaz hombre-máquina se añadieron varias funcionalidades para el uso de la cizalladora como: ingreso e identificación de usuarios para garantizar el uso responsable de la máquina, Aviso de alarmas y paros de emergencia, configuración de los parámetros de corte y enceramiento, selección de modo simple o continuo y botón de inicio del proceso. Esta interfaz ofrece al usuario un entorno amigable e intuitivo ya que este tiene todas las instrucciones disponibles para asegurar el correcto manejo y funcionamiento de la máquina, además de poder visualizar e inspeccionar todas las acciones que ejecute el usuario sobre los mandos mecánicos originales de la máquina, todo cuidadosamente diseñado para garantizar la seguridad tanto de los operarios que trabajan como de cada uno de los componentes de la máquina.

PALABRAS CLAVE:

- **LABORATORIO.**
- **HMI.**
- **PARÁMETROS DE CORTE.**
- **CIZALLA.**
- **CONFIGURAR.**

ABSTRACT

This project involves the rehabilitation of a shearing machine Truecut Edwards 3.25 [mm] and the design of the human-machine interface (HMI), this machine is part of the Manufacturing Processes Laboratory in the Energy and Mechanics Department from University of the Armed Forces - ESPE.

The machine was restored after being in disuse, redesigning some obsolete circuit and making it ready for operation. It has two different parts; the control pad and the electric power including the implementation of sensors that facilitate the handling and safety of the machine. Through the design and implementation of HMI various functionalities were added to the Truecut Edwards as: user ID to ensure the responsible use of it, warning alarms and emergency stops, configuration of cutting and waxing parameters, selection of single or continuous mode process and the start button. This interface provides a friendly and intuitive environment to the users since it has all the available instructions to ensure proper management and operation of the machine. Additionally, allow us to view and inspect all user actions that run on the original mechanical controls, all carefully designed to ensure the safety of the operators that work with each of the components of Truecut Edwards.

KEY WORDS:

- **LABORATORY.**
- **HMI.**
- **CUTTING PARAMETERS.**
- **SHEAR.**
- **SET.**

1. CAPÍTULO 1.

GENERALIDADES

1.1. Introducción.

El Módulo Académico de Interacción Hombre Máquina implementado en la cizalla posee una interfaz amigable con el operador, además de poseer ventanas emergentes que indican los fallos ocurridos en la misma así como, los bloqueos pertinentes para el funcionamiento de la máquina-herramienta, los mismos que son necesarios para el cuidado de la vida útil de los actuadores (motores) y de la misma manera para velar por la integridad de los operarios.

La máquina – herramienta puede ser operada a través de un touch panel, así como también por medio de botones exteriores.

Al momento de encenderse la cizalla la regla que permite medir la longitud a cortar de tol se encera en caso de que se haya apagado la máquina con una distancia diferente de cero. Se puede visualizar la medida a cortar de tol gracias a los displays que muestran la longitud tanto en milímetros como en pulgadas.

El corte de la cizalla presenta dos ciclos de funcionamiento uno simple y otro continuo,

El HMI presenta dos niveles de usuario para poder operar la máquina como son: Estudiante e Ingeniero; en el caso del primero que es el nivel de menor acceso este solo podrá realizar un corte simple, mientras que el segundo tendrá acceso a ambos ciclos (simple y continuo), además de poder acceder a las distintas configuraciones del Touch panel; cabe mencionar que en el caso que no se haya iniciado sesión en ninguno de estos dos niveles de usuario, la máquina-herramienta no entrará en funcionamiento.

1.2. Antecedentes.

El Laboratorio de Procesos de Manufactura ubicado en la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE, entró en funcionamiento al servicio de los estudiantes pertenecientes al Departamento de Ciencias de la Energía y la Mecánica desde 1981, año en el que fue instalada gran parte de la maquinaria que se encuentra actualmente disponible en el mismo.

Debido a la creciente demanda estudiantil y a los avances tecnológicos de los últimos 20 años, el Laboratorio de Procesos de Manufactura se vio en la obligación de reforzar su maquinaria instalada, por lo que en el año 2006 adquiere el Torno CNC VIWA, y en el año 2008 se adquiere la Fresadora CNC FANUC, y dos Tornos Paralelos PBL 360Bx1000.

Además en el año 2006 se fundó la Carrera de Ingeniería en Mecatrónica perteneciente al Departamento de Ciencias de la Energía y la Mecánica, motivo por el cual en los últimos años se ha tenido que duplicar el uso de las máquinas – herramientas disponibles en el Laboratorio de Proceso de Manufactura; lo que conlleva a un mayor tiempo de uso y por ende desgaste de los equipos instalados.

Es necesario mencionar que desde el año 2009 la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE, ha pasado a ser una Institución Pública, por lo que el Departamento de Ciencias de la Energía y la Mecánica no se encuentra en la capacidad de renovar totalmente la maquinaria instalada en el Laboratorio; por tal motivo y por impulso de entes visionarios e innovadores se plasmó la idea de repotenciar el Laboratorio de Procesos de Manufactura lo que tiene como finalidad automatizar las Máquinas-Herramientas del DECEM.

Desde el mes de Junio de 2014 hasta la actualidad ya se han realizado dos proyectos que han servido para repotenciar el Laboratorio, estos son: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MÓDULO ACADÉMICO DE INTERACCIÓN HOMBRE – MÁQUINA PARA CONTROL NUMÉRICO EN EL

TORNO PARALELO PBL 360Bx1000 SERIE NO. 61124”, realizado por Edwin Cornelio Santillán Coello y Jair Omar Quispe Cevallos; DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL A BASE DE UNA PLATAFORMA DE SOFTWARE LIBRE PARA LA REHABILITACIÓN DE LA BALANCEADORA TIRA K300, E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA MECÁNICO PARA LA SEGURIDAD DE LA MISMA" realizado por Bryan Puruncajas y Carlos Sosa.

En atención a la progresión de eventos en materia de mejorar los equipos presentes en el laboratorios para que sigan siendo de utilidad y además que estos abastezcan la demanda de uso de los mismos, se presenta a continuación el proyecto llamado “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MÓDULO ACADÉMICO DE INTERACCIÓN HOMBRE – MÁQUINA PARA LA REHABILITACIÓN DE LA CIZALLA EDWARDS TRUECUT 3.25 MM MODELO 600”, al tomar en cuenta las necesidades de mejorar la manipulación y disminución de los tiempos de uso de los equipos al proponer una interfaz gráfica simple, rápida y fácil de usar que permita dar abasto a la demanda de uso por parte de los profesores y estudiantes a fin de mejorar la calidad de los conocimientos.

1.3. Definición del problema.

En el laboratorio de Procesos de Manufactura de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE, la “Cizalla Edwards Truecut 3.25 Modelo 600” se ha encontrado fuera de uso desde el año 2007, y al ser esta máquina – herramienta de gran utilidad y en vista que adquirir una nueva representa un gran gasto económico, se decidió rehabilitarla, dejarla operable y automatizarla con la implementación de un control de posición que permita visualizar la longitud a cortar de tol, además de limitar el máximo espesor de tol a cortar (2.5 mm), y se tendrá un manejo de la cizalla a través de un Touch panel que permita una Interfaz Humano – Máquina (HMI) amigable con el usuario.

1.4. Objetivos.

1.4.1. General.

Rehabilitar la cizalla Edwards Truecut 3.25 Modelo 600 e implementar un Módulo de Interacción Hombre-Máquina para propósitos académicos en el Laboratorio de Procesos de Manufactura del DECEM.

1.4.2. Específicos.

- Analizar e identificar las partes funcionales y no operables de la cizalla con la finalidad de repararlas para un correcto y óptimo funcionamiento de la misma.
- Seleccionar los dispositivos eléctricos, electrónicos, mecánicos, herramientas y de software de acuerdo a las necesidades que presenta el proyecto para su construcción.
- Diseño de una Interfaz Humano – Máquina amigable con el usuario además de permitir identificar los fallos del sistema con ventanas emergentes.
- Evaluar las modificaciones físicas que se deben realizar en la cizalla, con la finalidad de prevenir fallos mecánicos.

1.5. Justificación e Importancia.

El Laboratorio de Procesos de Manufactura del Departamento de Ciencias en la Energía y Mecánica posee maquinaria fabricada a finales de la década de los 70's y principios de los 80's, es decir presentan ya un uso por más de 35 años razón por la cual existen equipos que ya no tienen la misma precisión con la que fueron fabricados así como también, otros se encuentran en desuso bien sea por encontrarse averiados o simplemente por no presentar una interfaz que permita un fácil acceso, manipulación y una mayor interacción entre los estudiantes y los equipos.

Por este motivo, es consigna del laboratorio de Procesos de Manufactura repotenciar la mayor cantidad de maquinaria disponible en el mismo, es por ello que la rehabilitación e implementación de un módulo HMI en la cizalla Edwards facilita el uso del equipo por parte de los estudiantes, además de velar por la integridad física de los mismos gracias a los sensores de seguridad acoplados en la máquina – herramienta.

La implementación de este tipo de módulos académicos permite optimizar el tiempo de uso del equipo por parte de cada estudiante, gracias a que poseen Interfaces Humano – Máquina amigables con el usuario.

1.6. Alcance

Este proyecto se centra en la reparación del sistema electromecánico de la cizalla, diseño e implementación de un módulo interactivo, dotado de una interfaz gráfica que facilite la interacción entre máquina y operador, permitiéndole a este realizar procesos de corte de una mejor manera, validación si el espesor a cortar está dentro del máximo permitido (2.5 mm), la activación de la cizalla estará permitida si la integridad física del operador se encuentra a salvo.

Con la implementación de la Interfaz Humano – Máquina (HMI) se tendrá las siguientes funcionalidades:

- **Usuario:** La máquina será configurable para trabajar de acuerdo a un usuario específico, ya sea profesor o estudiante, esta limitará si se realizará un corte continuo o simple respectivamente; impidiendo el encendido de la cizalla si hubiera un usuario (estudiante) no permitido para trabajar en corte continuo.
- **Seguridad:** Tendrá un sistema en base de sensores que detecte la presencia del operario cuando este se encuentre en una zona crítica que le pudiera causar daño físico, la cizalla ejecutará un paro de emergencia automático cuando esto suceda.
- **Encendido de accesorios:** Poseerá control directo al encendido y apagado de accesorios por ejemplo la lámpara.
- **Visualización de accionamientos de la cizalla:** Se tendrá una visualización previa en pantalla de cómo está configurada la cizalla, si el espesor de la plancha a cortar está dentro del máximo permisible (2.5 mm) así como la longitud a cortar, para luego confirmar el inicio del corte.

1.7. Estructura de Documento.

Capítulo 1. Generalidades

Este capítulo principalmente se centra en la definición del problema que en este caso es la rehabilitación de la cizalla, a través del cual se definen los objetivos y el alcance que tendrá el proyecto a ejecutarse.

Capítulo 2. Marco Teórico

Se puede encontrar una introducción a la parte de máquinas-herramientas, la estructura y partes de una cizalla, de igual forma se encuentra la información acerca de los parámetros necesarios para realizar un corte, además de una descripción de los equipos y dispositivos utilizados en la rehabilitación de la cizalla.

Capítulo 3. Identificación de las Especificaciones.

Este capítulo tiene como objetivo el Desarrollo de la Función de Calidad (QFD), la cual se construye a partir de la “voz del cliente”, es decir, se basa en las demandas planteadas por los potenciales usuarios acerca de cómo les gustaría que sea un producto o equipo y tiene como finalidad traducir estas demandas a parámetros técnicos y determinar las especificaciones del proyecto.

Capítulo 4. Diseño Conceptual

Aquí se establecen los módulos con los que contará el sistema a implementarse, con la finalidad que estos se puedan instalar progresivamente independientemente uno de otro y así realizar las respectivas pruebas y proceder a realizar las correspondientes correcciones en el desarrollo del proyecto.

Capítulo 5. Diseño de Materialización

En este capítulo se encuentra la selección de los componentes y equipos a utilizarse en el sistema por implementar, esto se lo hace de una manera técnica, es decir, tomando en cuenta criterios de ponderación para seleccionar cada componente, con la finalidad de establecer un diseño definitivo para la posterior instalación del sistema.

Capítulo 6. Pruebas y Resultados

Una vez implementado todo el sistema se proceden a realizar las pruebas de cada uno de los módulos instalados en el mismo, esto con el propósito de realizar las correcciones necesarias ante cualquier desperfecto y así establecer los resultados finales.

Capítulo 7. Análisis Económico

Este capítulo tiene como objetivo realizar un análisis del costo de la implementación del proyecto y de esta manera poder establecer si resulta viable instalar esta clase de sistemas.

Capítulo 8. Conclusiones y Recomendaciones

Es dónde se manifiesta las soluciones dadas para el cumplimiento de los objetivos planteados a través de las conclusiones y también se dan las posibles mejoras para el proyecto por medio de las recomendaciones.

Bibliografía

Fuentes de información usadas para el desarrollo del proyecto.

Planos y Anexos

Planos de construcción, de conjunto, eléctricos, diagramas, normas usadas, entre otras cosas.

2. CAPÍTULO 2.

MARCO TEÓRICO

En este capítulo se encuentra toda la información acerca de la cizalla, su estructura y parámetros necesarios para realizar un corte.

2.1. Máquinas – Herramientas.

Se denominan máquinas – herramientas (Fig. 1) aquellas que se utilizan para el mecanizado de piezas, las cuales contienen herramientas de corte o desbaste que permiten realizar una actividad específica, además se caracterizan por utilizar una fuente de energía distinta a la del ser humano o un aporte mínimo por parte de este, como fuente de energía puede ser un motor eléctrico o actuadores hidráulicos (Schwab, 2011). Dentro de este grupo se encuentran los tornos, fresadoras, taladros verticales, cizallas mecánicas, etc.



Figura 1. Máquinas – Herramientas
(KNUTH , 2015)

2.2. Cizalla Mecánica.

También denominadas cizallas mecánicas de guillotina (Fig. 2), son aquellas máquinas – herramientas usadas para cortar en frío planchas de

metal, empleando para ello el **cizallado** que es la operación de corte de metal que utiliza dos cuchillas una fija y una móvil.

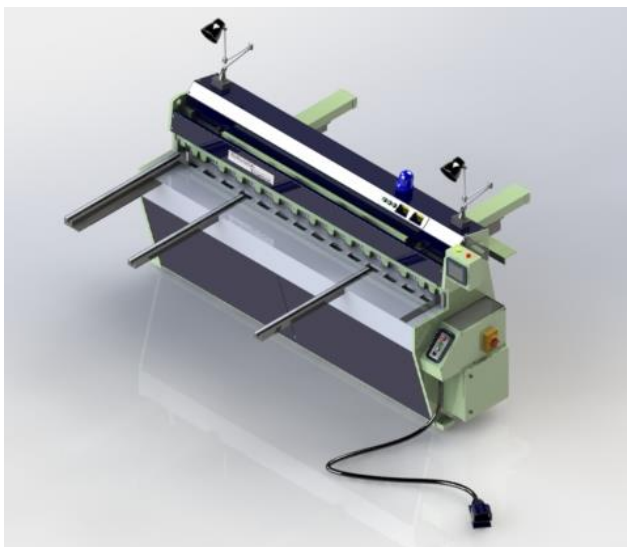


Figura 2. Cizalla EDWARDS TRUE CUT 3.25 mm

2.3. Estructura de la cizalla.

La cizalla está compuesta por las siguientes partes necesarias para su funcionamiento:

2.3.1. Bancada.

Es la pieza fundida sobre la que se sostiene la máquina, generalmente es fabricada por fundición de hierro gris, debido a que es muy resistente a la abrasión y desgaste y además no se deforma, es una fundición gris perlítica que puede ser G300, G3500 Y G400 según la norma ASTM A159, esto depende de las cargas a la que estará sometida la bancada, en si la bancada es la que sirve de soporte para toda la estructura de la cizalla (Fig. 3).

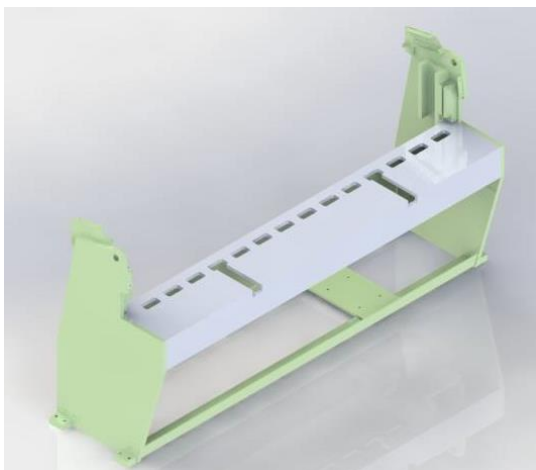


Figura 3. Bancada

2.3.2. Bastidor.

Este es un componente de gran importancia debido a que en el mismo se ubican dos elementos móviles como son el pisón y porta cuchilla (Fig. 4), es necesario recalcar que el bastidor se encuentra apoyado sobre la bancada.



Figura 4. Bastidor.

2.3.3. Mesa.

Es parte fundamental de la bancada (Fig. 5), en esta se coloca el material a cortar, por lo general en ella se ubican reglas graduadas en milímetros o pulgadas y también presenta guías y topes que permiten un corte adecuado.

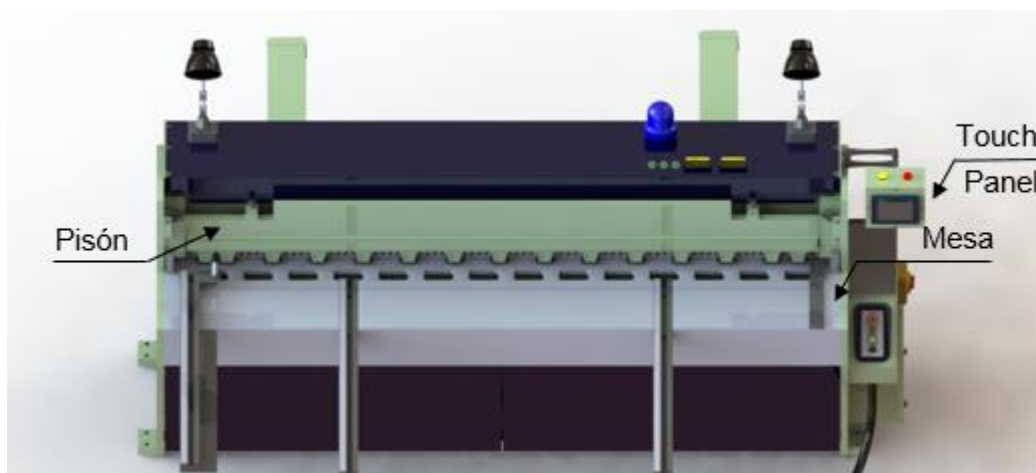


Figura 5. Mesa y otros componentes

2.3.4. Pisón.

Es la pieza móvil ubicada en el bastidor (Fig. 6) que tiene como función principal sostener el tol sobre la mesa de trabajo, antes y durante el corte del mismo.

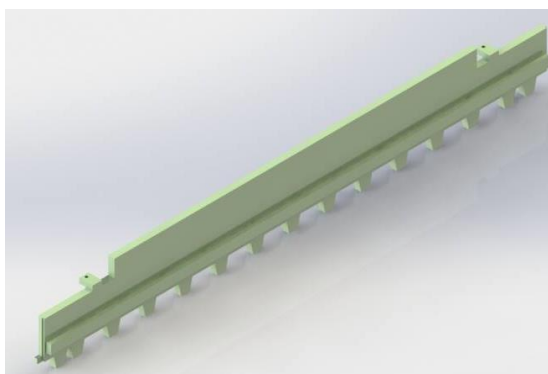


Figura 6. Pisón

2.3.5. Porta Cuchilla o Corredera.

Pieza móvil que se desplaza verticalmente a la mesa es fabricada con un ángulo de inclinación debido a que aloja a la cuchilla móvil. Se desliza a lo largo de una doble guía que se encuentra sobre el bastidor, lo que permite mantener el ángulo de inclinación constante (Fig. 7 – 8).

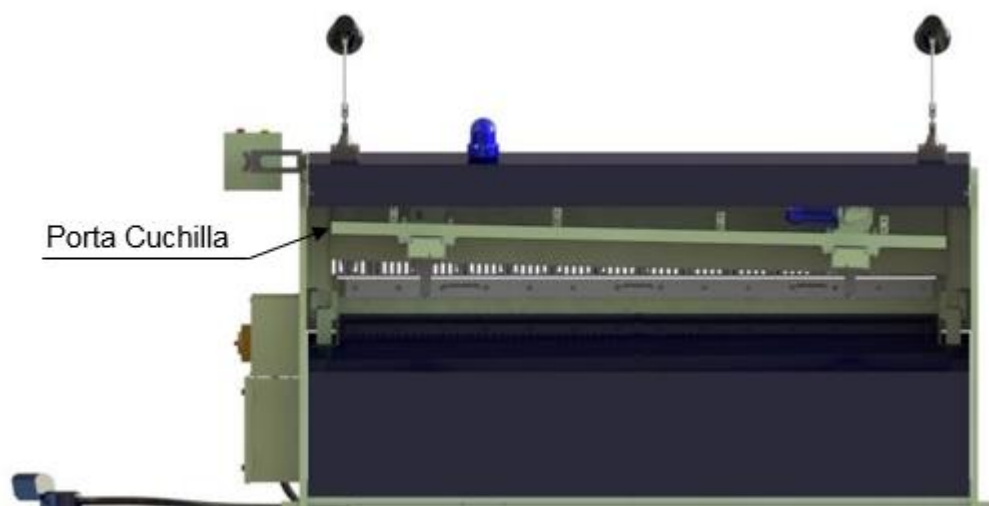


Figura 7. Ubicación Porta Cuchilla



Figura 8. Porta Cuchilla o Corredera

2.3.6. Cuchilla Móvil.

Ubicada y sujeta por medio de pernos a la corredera (Fig. 9), es fabricada de acero templado y diseñada para cortar.

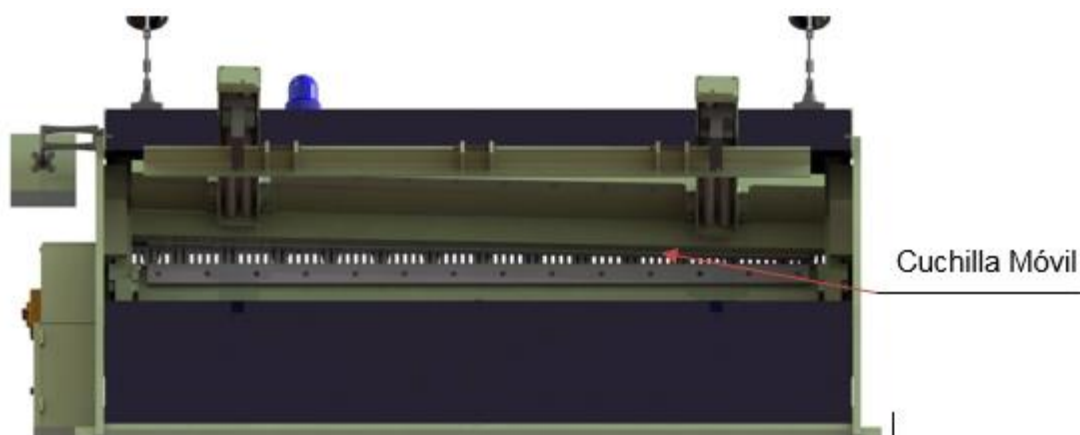


Figura 9. Cuchilla móvil

2.3.7. Cuchilla Fija.

Igualmente fabricada de acero templado (Fig. 10 – 11), diseñada para cortar y se encuentra unida a la mesa.

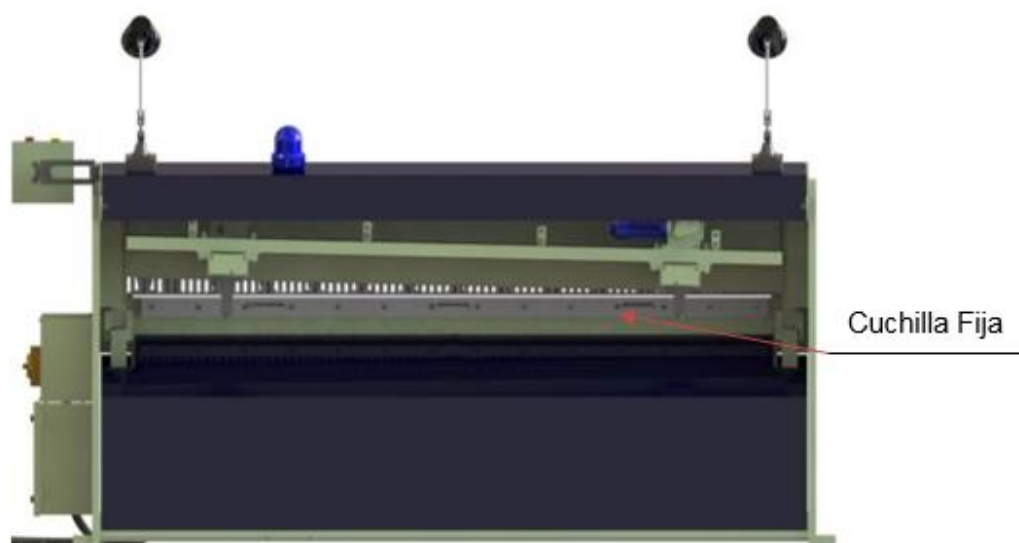


Figura 10. Cuchilla Fija.



Figura 11. Cuchilla

2.3.8. Dispositivos de Accionamiento.

Son aquellos dispositivos que sirven para poner en marcha la cizalla pueden ser pulsadores o pedales (Fig. 12), estos últimos son los más usados debido a que brindan cierto grado de seguridad.

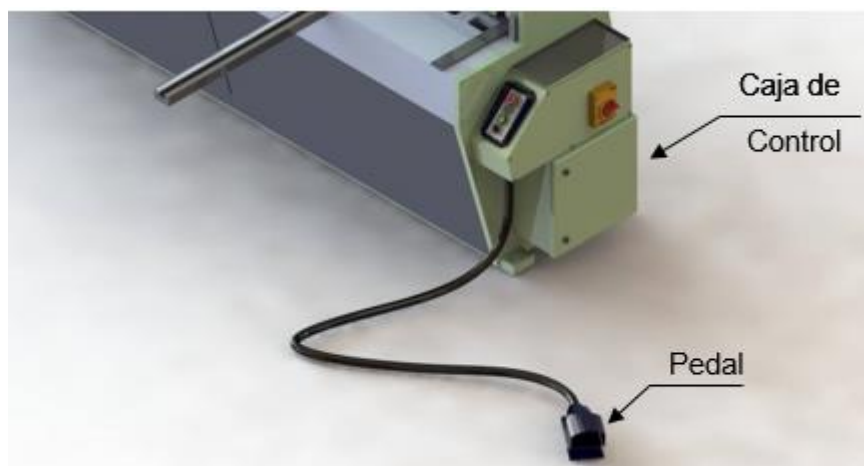


Figura 12. Dispositivos de Accionamiento

2.3.9. Sistema electro – mecánico.

Este sistema es el que permite el funcionamiento de la cizalla y está conformado principalmente por:

2.3.9.1 Motor Eléctrico

Es el actuador del que consta la máquina – herramienta, que permite el movimiento de la cizalla (Fig. 13), el cual está acoplado a una caja reductora de 20:1 a través de bandas de transmisión (Fig. 14), la misma que permite aumentar el torque de arranque. Se define a un **motor eléctrico** como, aquella máquina capaz de transformar energía eléctrica en mecánica.

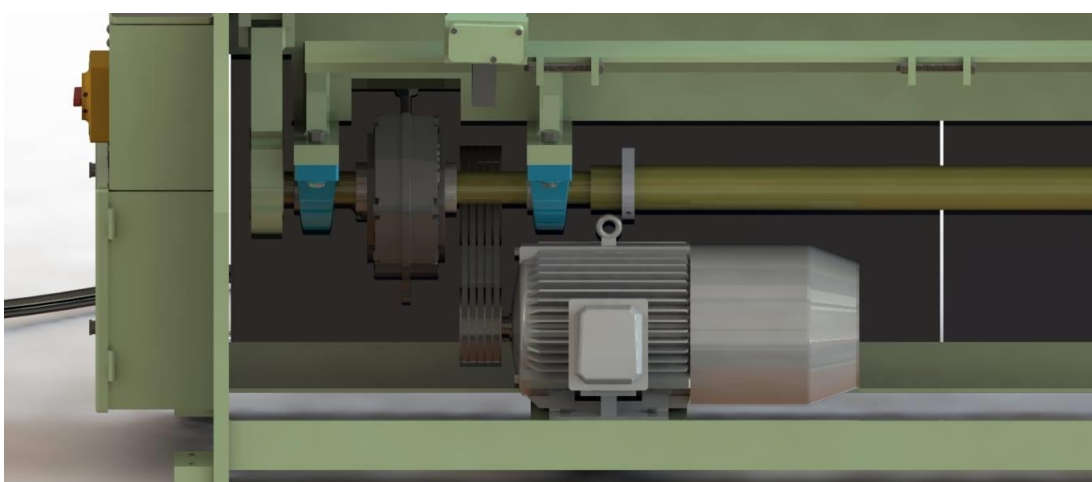


Figura 13. Motor Eléctrico.



Figura 14. Caja Reductora

2.3.9.3. Mecanismo Biela – Manivela.

Este mecanismo permite transformar el movimiento circular en un movimiento de traslación (Fig. 15), es el que permite el movimiento vertical del porta – cuchilla o corredera, lo que permite realizar el corte del tol.

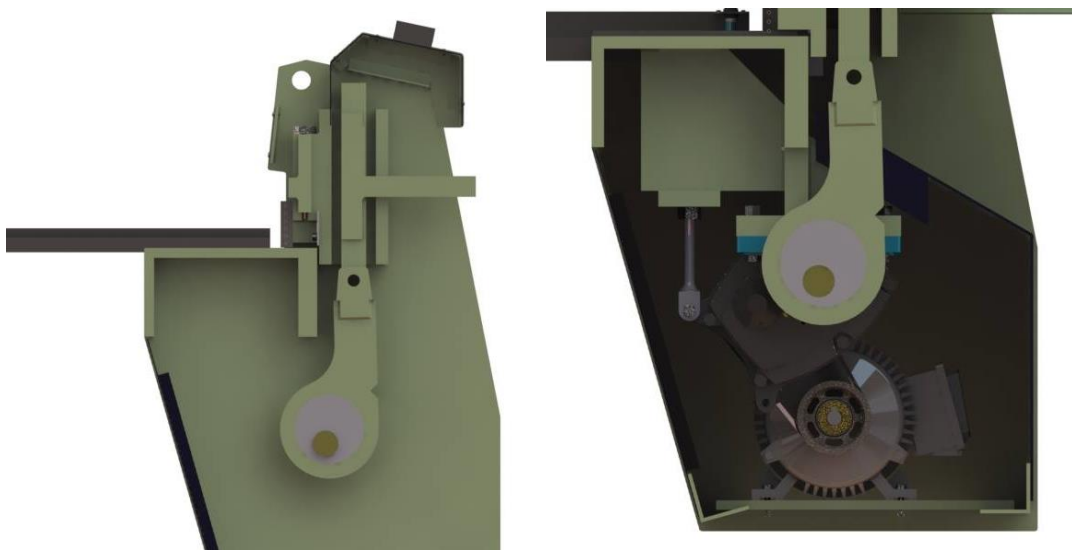


Figura 15. Mecanismo Biela – Manivela.

2.4. Parámetros que hacen posible un corte.

Las cuchillas de una cizalla pueden estar dispuestas de dos maneras:

- Cizallas con cuchillas paralelas (Fig. 16).

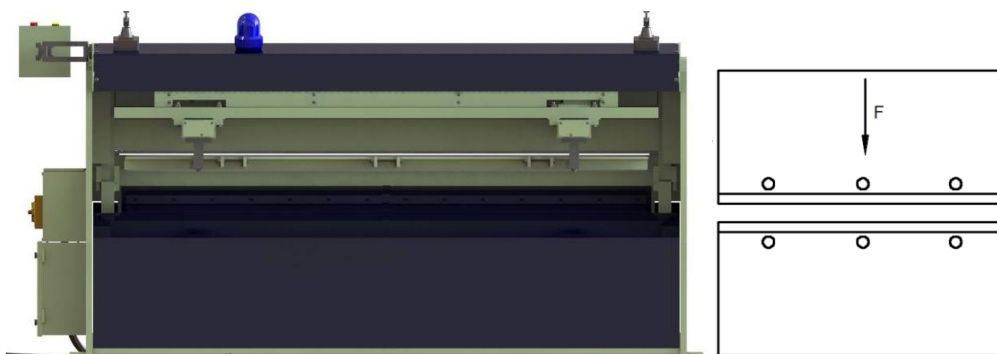


Figura 16. Cizalla con Cuchillas paralelas.

- Cizallas con cuchillas inclinadas (Fig. 17).

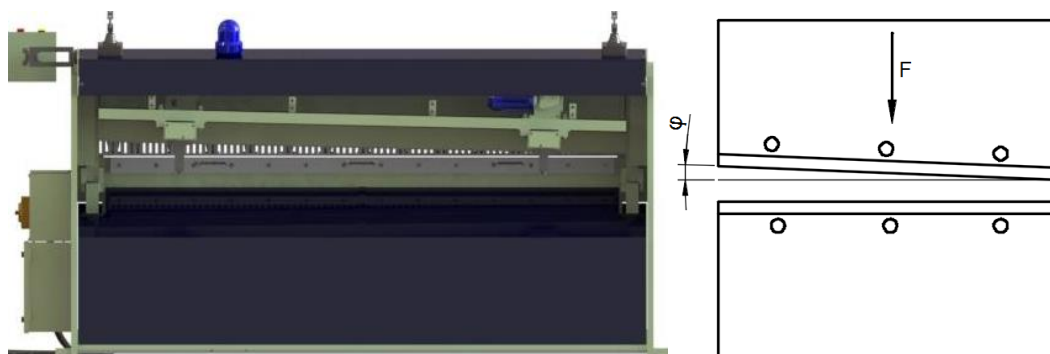


Figura 17. Cizalla con cuchillas inclinadas

Para dimensionar esta clase de cizallas mecánicas inicialmente se parte por el cálculo de la **fuerza** necesaria para realizar el corte de la chapa metálica; tanto para cizallas de cuchillas paralelas (Fig. 16) así como, inclinadas (Fig. 17), la forma de calcular la **fuerza de corte** es la misma, con la diferencia de la sección de contacto al momento de cortar; esto se explicará a continuación.

El corte por cizalla se descompone en tres secciones:

- Los filos de la cuchilla penetran en el material por acción de la Fuerza principal F_{H_1} y de la fuerza de apoyo F_{H_2} (Fig. 18-a), originándose una deformación. En ambos lados se produce una entalla profunda (Fig. 18-b). (Falk, 2001)
- La cuchilla superior sigue penetrando el material y corta una parte de sus fibras (Fig. 18-b). (Falk, 2001)
- Por último se alcanza el límite de rotura del material, la pieza se rompe, originándose una superficie de fractura basta y granulosa (Fig. 18-b). (Falk, 2001)

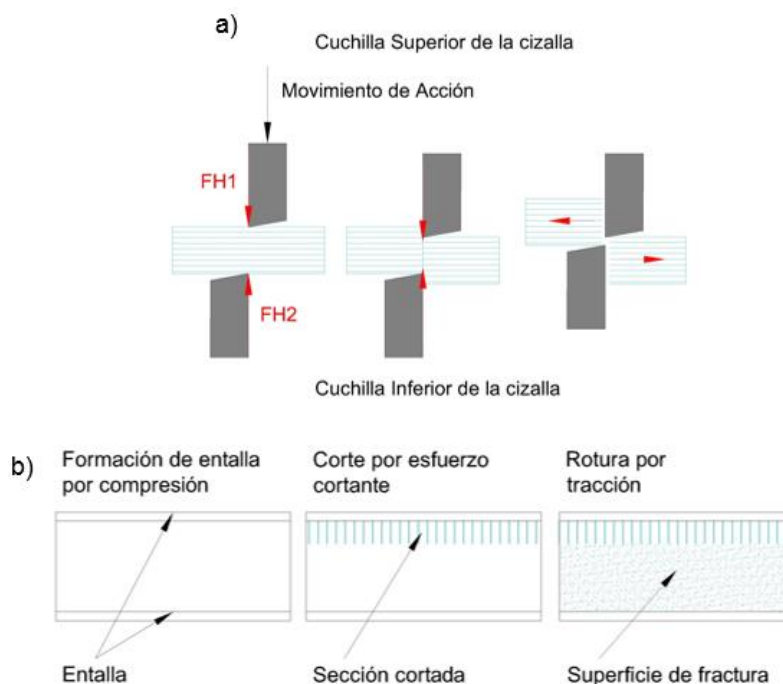


Figura 18. Corte por cizallamiento

Es necesario tomar en cuenta que todo material presenta una resistencia a la cizalladura τ_B , el cual se calcula a partir de la resistencia a la rotura σ_B . En la Tabla 1. Se encuentran estos valores tabulados.

Tabla 1.

Resistencia a la cizalladura

Material	Resistencia a la rotura $\sigma_B \left[\frac{N}{mm^2} \right]$	Resistencia a la cizalladura $\tau_B \left[\frac{N}{mm^2} \right]$
Aluminio	110	70
Cobre	220...390	180...290
Acero St37	360...440	280..350
Acero St50	490...590	390...470

2.4.1. Cálculo de fuerza de corte para cizallas con cuchillas paralelas.

La fuerza necesaria para realizar un corte F_H depende de la longitud del cizallado (L), del espesor del material (s) y de la resistencia a la cizalladura τ_B

(Fig. 19). Para el cálculo de este último en los aceros se aplica la ecuación 2.1.

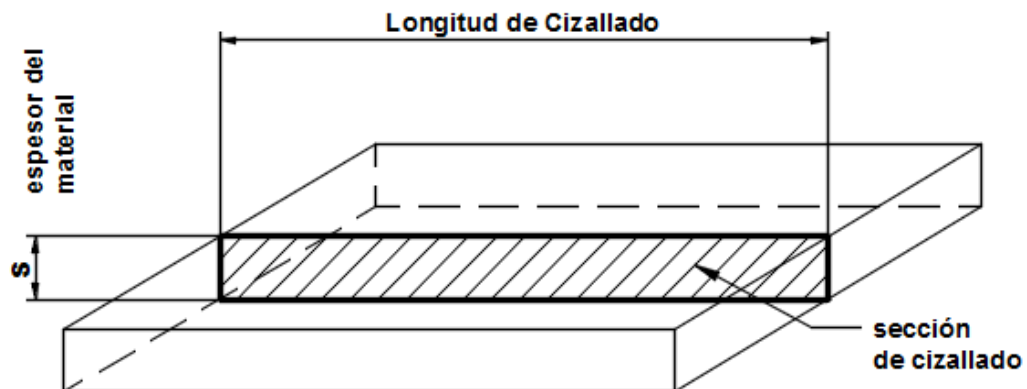


Figura 19. Superficie de Cizallado

$$\tau_B = 0.8 * \sigma_B \quad (2.1)$$

Donde:

τ_B : Resistencia a la cizalladura.

σ_B : Resistencia a la rotura.

Para el cálculo de la fuerza cortante F_H (Fig. 18 – a) se usa la ecuación 2.2.

$$F_H = \tau_B * L * s \quad (2.2)$$

Donde:

F_H : Fuerza de corte.

τ_B : Resistencia a la cizalladura.

L : Longitud de cizallamiento.

s : Espesor de la plancha a cortar.

Al considerar el producto de la longitud L por el espesor s , se tiene la sección de cizallado A_s (Fig. 19), por lo tanto:

$$F_H = \tau_B * A_s \quad (2.3)$$

Donde:

F_H : Fuerza de corte.

τ_B : Resistencia a la cizalladura.

A_s : Sección de cizallado.

2.4.2. Cálculo de fuerza de corte para cizallas con cuchillas inclinadas.

Como se explicó anteriormente el cálculo de la fuerza de corte en cuchillas inclinadas es similar que en el de cuchillas paralelas (Ecu. 2.3), con la diferencia que la sección de cizallado (A_s), no es la misma, tal como se esquematiza en la Fig. 20.

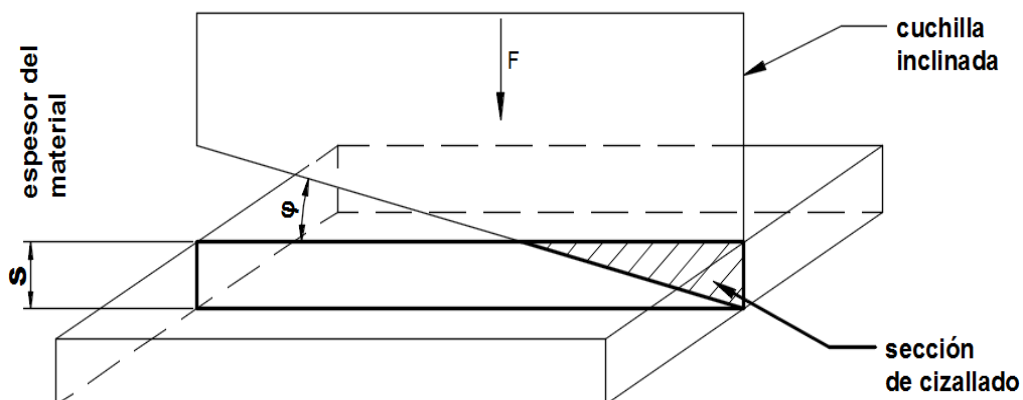


Figura 20. Sección de cizallado

Para comprender de una mejor manera se debe caer en cuenta que en una cizalla de cuchillas paralelas se tiene que calcular la fuerza necesaria (F_H) para cortar toda una sección rectangular (Fig. 19), en cambio en cizallas de cuchillas inclinadas se tiene que calcular la fuerza necesaria (F_H) para cortar

una sección triangular (Fig. 20), y al mantenerse esta fuerza constante durante el avance de la cuchilla (al momento de bajar a realizar el corte), se logra cortar la longitud total de las plancha de tol.

Lo mencionado anteriormente se indica en la Fig. 21.

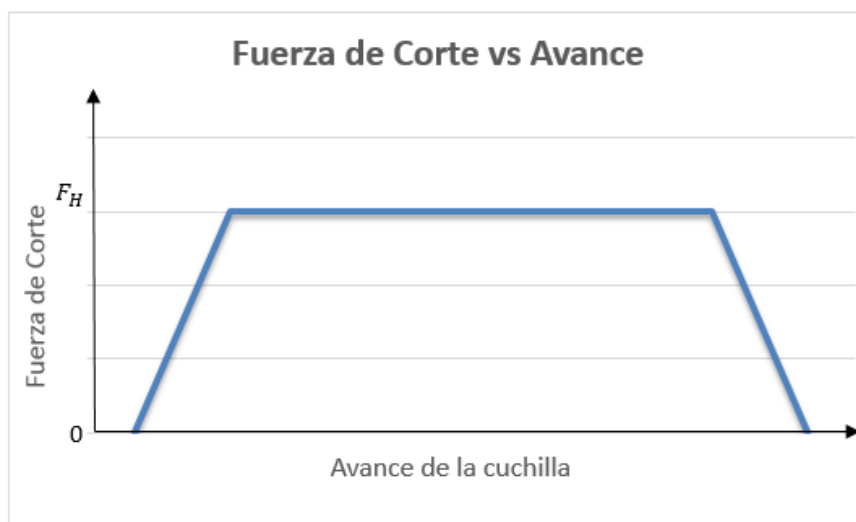


Figura 21. Comportamiento de la Fuerza a medida que se corta el material

Como se puede observar en la Fig. 21, mientras la cuchilla empieza a cortar la lámina de tol, la fuerza empieza a aumentar linealmente, cuando llega a su máximo valor (F_H), ya la cuchilla ha cortado una sección triangular de la sección rectangular (Fig. 20), desde ese instante la cuchilla se mantiene cortando con fuerza constante, hasta que reste por cortar una sección triangular igual a la cortada al principio (Fig. 22).

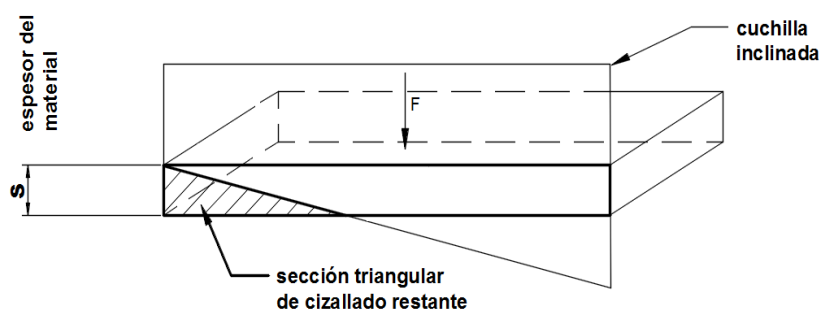


Figura 22. Sección triangular de cizallado constante

Para establecer la ecuación de cálculo de la fuerza de corte (F_H) en cizalla de cuchillas inclinadas se parte de la ecuación 2.3.

$$F_H = \tau_B * A_S$$

Donde:

F_H : Fuerza de corte.

τ_B : Resistencia a la cizalladura.

A_S : Sección de cizallado.

Como se observa en la Figura 20, ahora la sección de cizallado (A_S) es una sección triangular y para su análisis consideremos únicamente dicha sección (Fig. 23).

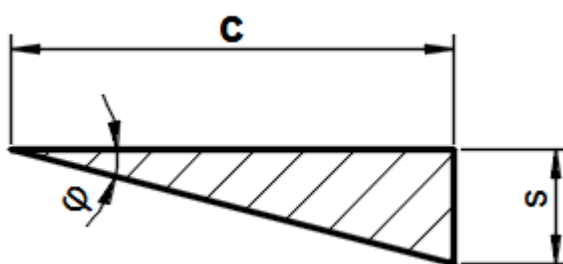


Figura 23. Sección de cizallado triangular

Cómo se observa (Fig. 23) la sección triangular de cizallado es la siguiente:

$$A_{\Delta} = \frac{c * s}{2} \quad (2.4)$$

Además el ángulo en un triángulo rectángulo es el siguiente:

$$tg(\varphi) = \frac{s}{c} \quad (2.5)$$

Al despejar c en la ecuación 2.5, se tiene:

$$c = \frac{s}{\text{tg}(\varphi)} \quad (2.6)$$

Al remplazar la ecuación 2.6 en la 2.4, se tiene el área triangular de cizallado en función del espesor (s) y del ángulo de inclinación (φ), que son dos variables conocidas.

$$A_{\Delta} = A_s = \frac{s^2}{2 * \text{tg}(\varphi)} \quad (2.7)$$

Donde:

A_{Δ} : Sección triangular de cizallado.

s : Espesor de la plancha a cortar.

φ : Ángulo de inclinación de la cuchilla.

Finalmente al remplazar la ecuación 2.7 en la 2.3, se obtiene:

$$F_H = \frac{\tau_B * s^2}{2 * \text{tg}(\varphi)} \quad (2.8)$$

Donde:

F_H : Fuerza de Corte.

τ_B : Resistencia a la cizalladura.

s : Espesor de la plancha a cortar.

φ : Ángulo de inclinación de la cuchilla.

Cómo se observa en la ecuación 2.8, a medida que se aumenta el ángulo de inclinación (φ), la fuerza de corte (F_H) disminuye. Ahora bien según el manual de DUBBEL y basándose en varios experimentos en los cuales se prioriza la calidad en el acabado del corte se establece (DUBBEL, 2003):

$$\varphi = 1.5^\circ - 10^\circ$$

En la **cizalla Edwards** disponible en el laboratorio, el ángulo de inclinación es 1.5° (Fig. 17).

2.4.3. Análisis de la cizallabilidad y superficie de fractura.

La cizallabilidad de un material es inversamente proporcional a la fragilidad de este, es decir, a medida que aumenta la fragilidad del material disminuye su cizallabilidad; esto debido a que se disminuye las proporciones de entalla y corte en la sección de cizallado. En contrapartida aumenta la superficie de fractura. (Fig. 24).

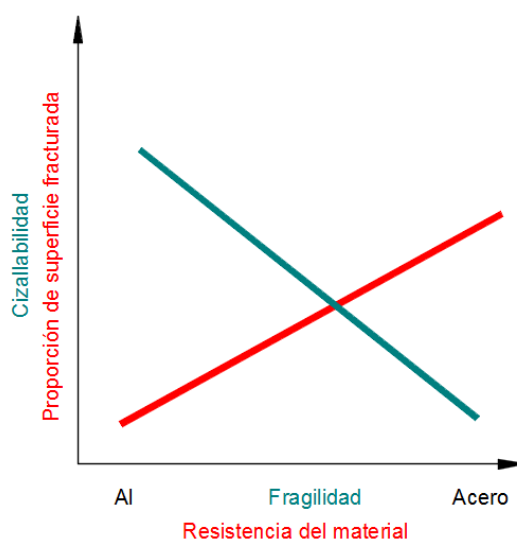


Figura 24. Cizallabilidad vs Fragilidad del material

La proporción de la superficie de fractura (Fig. 25) es de aproximadamente:

- $\frac{4}{10}$ del espesor (s) para materiales blandos
- $\frac{8}{10}$ del espesor (s) para materiales duros.

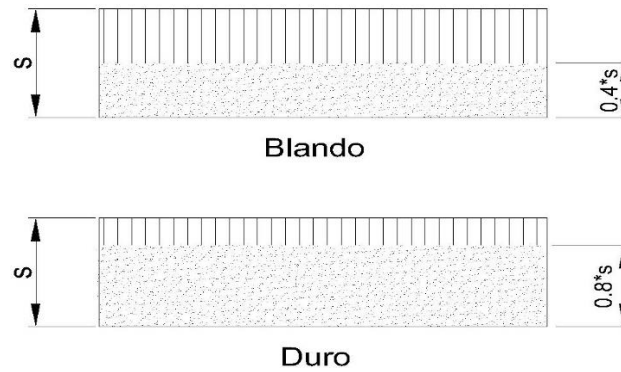


Figura 25. Superficie de fractura

De igual manera al aumentar el porcentaje de carbono en el acero, este disminuye su cizallabilidad (Fig. 26).

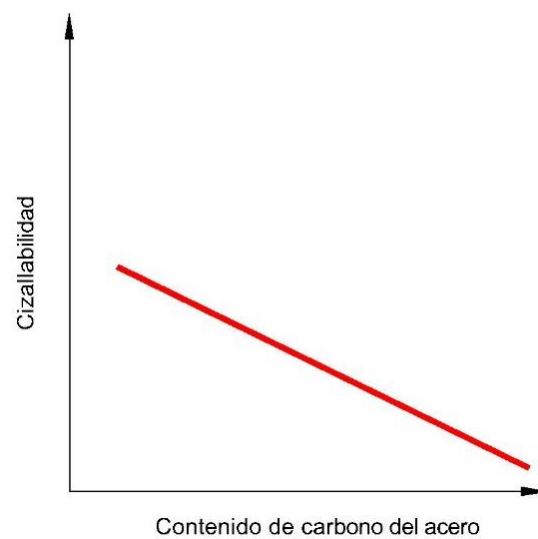


Figura 26. Cizallabilidad del acero.

2.4.4. Herramientas para corte por cizallamiento.

Como se mencionó anteriormente una cizalla posee dos cuchillas una fija y otra móvil por lo que es necesario considerar que las dos cuchillas constituyen una sola herramienta dividida por la mitad. Como resultado de esta división surgen dos nuevas superficies, las cuales no producen ninguna fuerza, razón por la cual se las denomina **superficies libres** (Fig. 27).

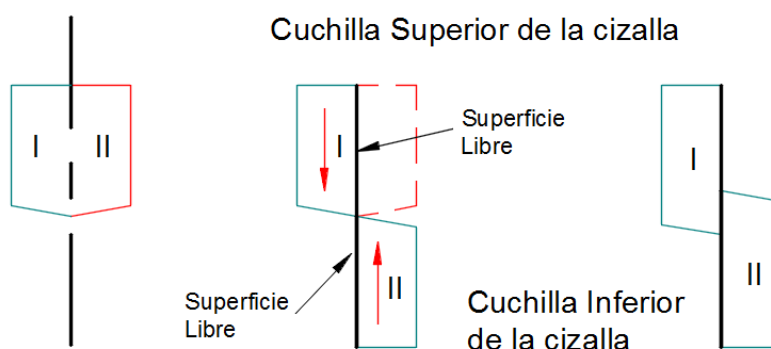


Figura 27. Superficies libres

Al inclinar las superficies libres, como consecuencia se disminuye el **ángulo de la cuña** (β) y por ende aparece el **ángulo de despullo** (α) (Fig. 28), esto se realiza con la finalidad de evitar el roce entre la superficie libre y el material a cortar, además de disminuir el desgaste de las cuchillas y así permitir un mayor tiempo de duración del filo de la herramienta, además se debe considerar el **ángulo de la incidencia** (δ) al ser este necesario en el afilado de las cuchillas.

Los rangos en los que pueden variar tanto el ángulo de despullo es $\alpha = 2^\circ - 3^\circ$, así como el ángulo de cuña es $\beta = 80^\circ - 85^\circ$ y el **ángulo de la incidencia** es $\delta = 2^\circ - 6^\circ$ (Fig. 28).

Es necesario que exista un **juego (separación)** entre las cuchillas de la cizalla con la finalidad de evitar que los filos se dañen mutuamente. La magnitud de esta separación (a) (Fig. 28), dependerá de la precisión que deba

tener la pieza, es decir, cuanto más pequeña sea (a), más exacta y limpia será la superficie de corte.

El juego entre las cuchillas tiene que ser $a \leq \frac{1}{20} s$.

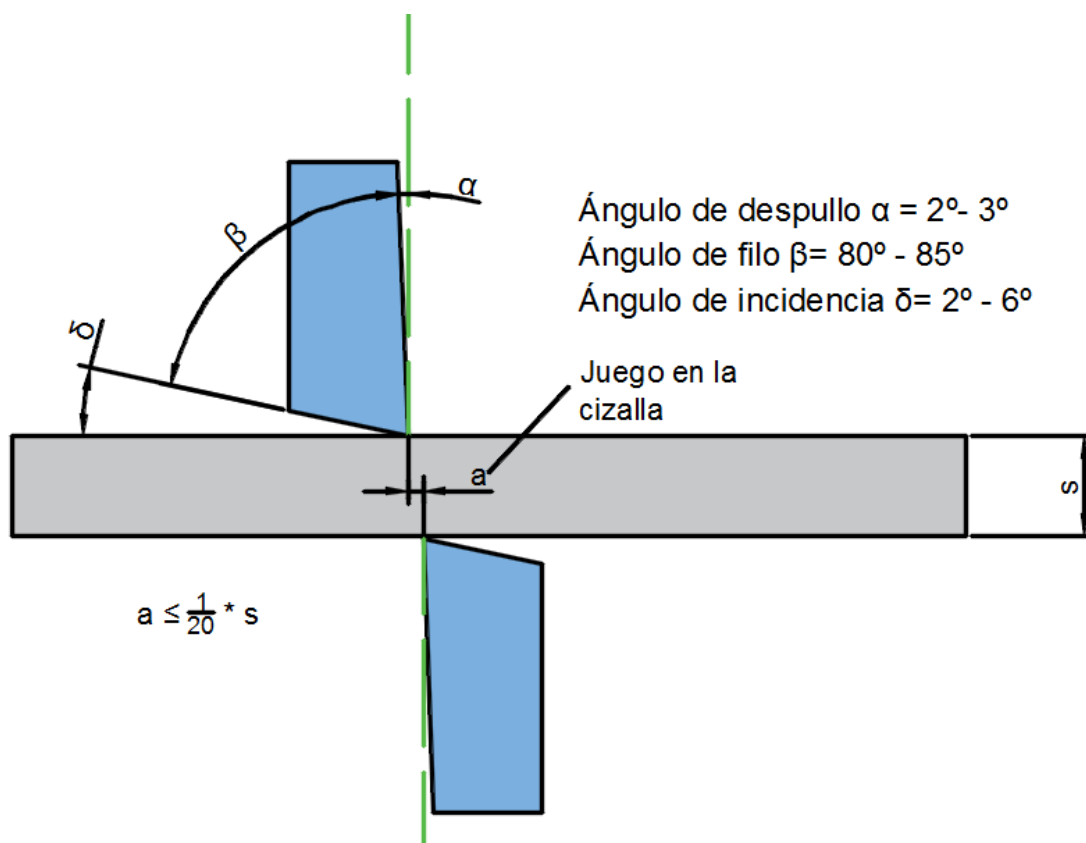


Figura 28. Ángulos y juego entre las cuchillas.

Donde:

α : Ángulo de despullo.

β : Ángulo de filo.

a : Juego entre las cuchillas.

δ : Ángulo de incidencia

A continuación se indican las fuerzas de cizallado que existen al realizar un corte (Fig. 29):

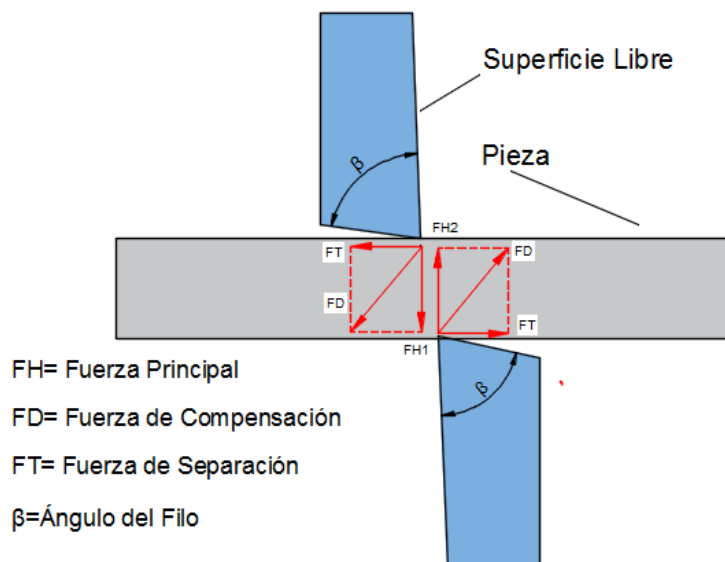


Figura 29. Fuerzas de Cizallado

Un juego entre cuchillas (a) demasiado grande puede producir demasiadas rebabas, superficies de corte desiguales y con grietas, además se pueden producir dobleces en los toles delgados (Fig. 30).

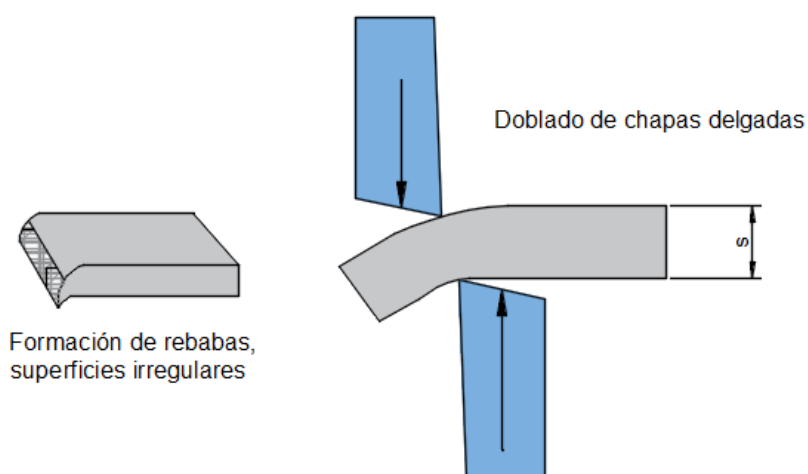


Figura 30. Consecuencias de juego excesivo

2.4.4.1. Afilado de las cuchillas

Para el afilado de las cuchillas de una cizalla mecánica actualmente se utilizan rectificadoras y afiladoras CNC (Fig. 31), pero existen recomendaciones a tomar en cuenta por parte de fabricantes de las cuchillas para que el afilado sea exitoso.



**Figura 31. Rectificadora – Afiladora CNC MVM FX 20
(MVM SRL, 2014)**

Para evitar defectos en el afilado se debe considerar:

- Usar una piedra afiladora apropiada.
- Refrigeración con abundante agua.
- Avanzar la muela, en base a recomendaciones técnicas.

A continuación se indica la correcta ubicación de las piedras afiladoras (Fig. 32), y los parámetros técnicos para el afilado (Tabla 2).

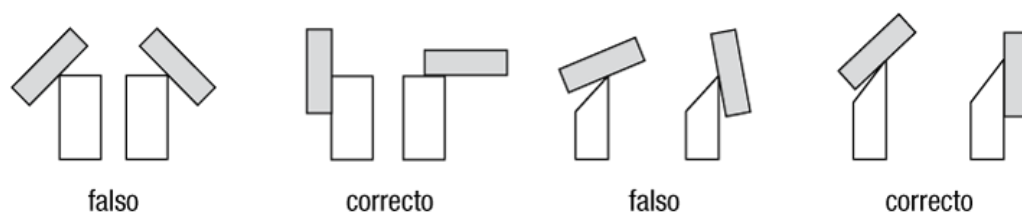


Figura 32. Ubicación de las piedras afiladoras.
(FASSCO REMSCHEID, 2014)

Tabla 2.

Parámetros técnicos para el afilado

abrasivos	calidad de la cuchilla	materia abrasiva	velocidad de circunferencia cabezal rectificador V (m/seg)	velocidad de mesa V (m/min)	avance de cada elevación (mm)
Segmentos muela/rodillo rectificador	F-100 - F-176 F-520 - F-576 aleado normal	grano: 46 - 60 dureza: I - K enlace: Bakelite	20 - 25	20 - 25	0,01 - 0,02
Segmentos muela/rodillo rectificador	F-236 F-410 - F-466 F-605 - F-635 F-4002 - F-4018 aleado alto	grano: 46 - 60 dureza: F - G enlace: Bakelite	20 - 25	20 - 25	0,01 - 0,02

Fuente: (FASSCO REMSCHEID, 2014)

Otra recomendación importante es que **¡Nunca se debe afilar en seco!** por lo tanto, el abastecimiento de refrigerante (agua con adición de protección antioxidante y refrigerante) debe ser ajustado al máximo (150 - 200 l/min) y debe ser dirigido directamente hacia el recinto de afilar (FASSCO REMSCHEID, 2014).

Ahora que se conocen las recomendaciones por parte de fabricantes, se debe considerar los ángulos que se deben afilar (Fig. 33).

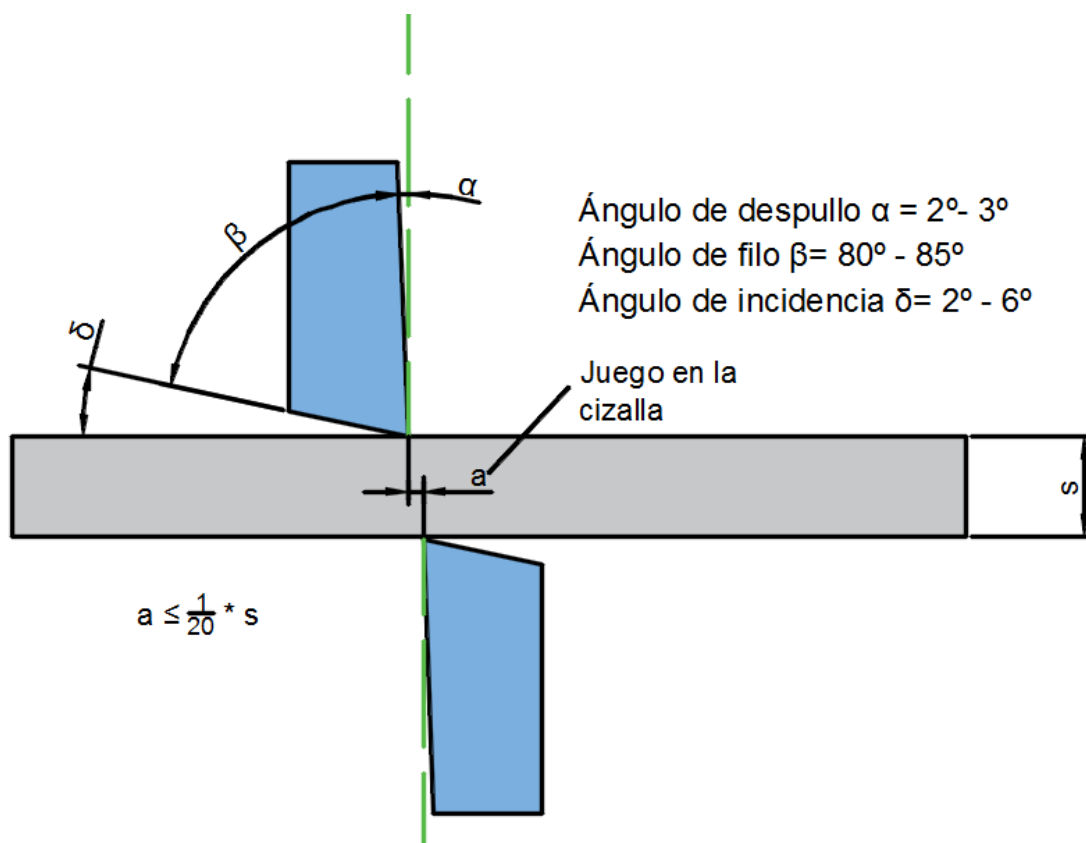


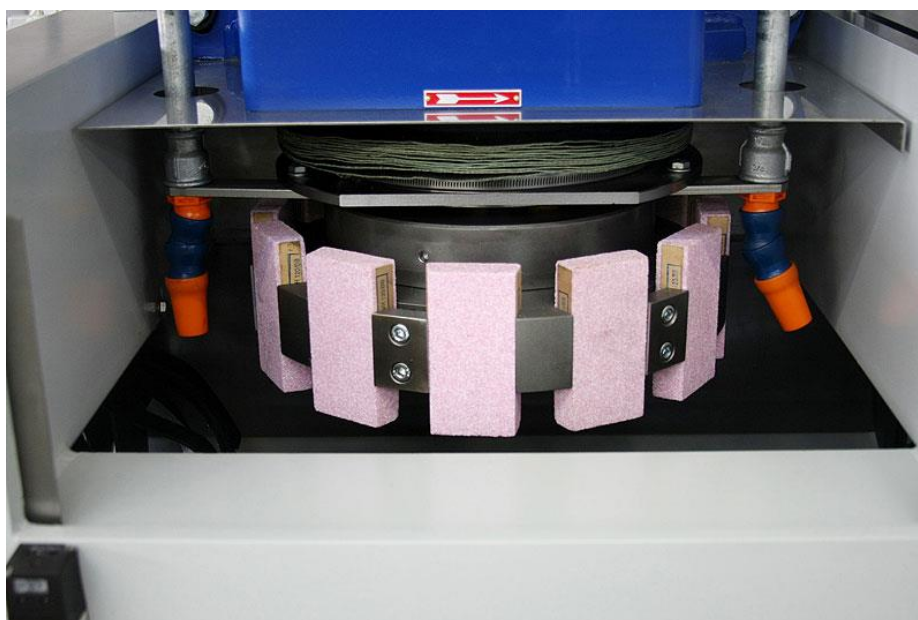
Figura 33. Ángulos a considerar para el afilado.

Se procede ahora a indicar cómo se afilan las cuchillas en una rectificadora CNC.

- Como primer paso se procede a colocar la cuchilla en las plataformas electromagnéticas, estableciendo el ángulo de inclinación (Fig. 34).
- Como siguiente paso se debe seleccionar los abrasivos que se van a usar (Tabla 2), y colocarlos en la corona porta – segmentos de la afiladora (Fig. 35).
- Finalmente se procede a configurar cada uno de los parámetros establecidos en la Tabla 2, para proceder con el afilado de la cuchilla (Fig. 36).



**Figura 34. Plataforma electromagnética CNC MVM FX 20
(MVM SRL, 2014)**



**Figura 35. Corona porta – segmentos abrasivos
(MVM SRL, 2014)**



**Figura 36. Panel de Control
(MVM SRL, 2014)**

2.4.4.2 Fabricación de las cuchillas

Para la fabricación de las cuchillas se utilizan aceros para herramientas, tratados térmicamente que cumplan las siguientes propiedades:

- Dureza elevada.
- Gran resistencia al desgaste.
- Buena tenacidad.
- Elevada resistencia a la compresión.
- Resistencia al impacto.
- Escasa variación dimensional en el tratamiento térmico.
- Maquinabilidad uniforme.

En la siguiente tabla se observa el acero que se debe seleccionar de acuerdo al espesor de chapa a cortar.

Tabla 3.

Selección del acero.

Espesor de la chapa a cortar [mm]	Acero BÖHLER	Dureza HRC
<i>hasta 4</i>	K105	58-62
	K110	58-62
<i>4 – 10</i>	K455	52-56
<i>más de 10</i>	K600	52-56
	K605	50-54

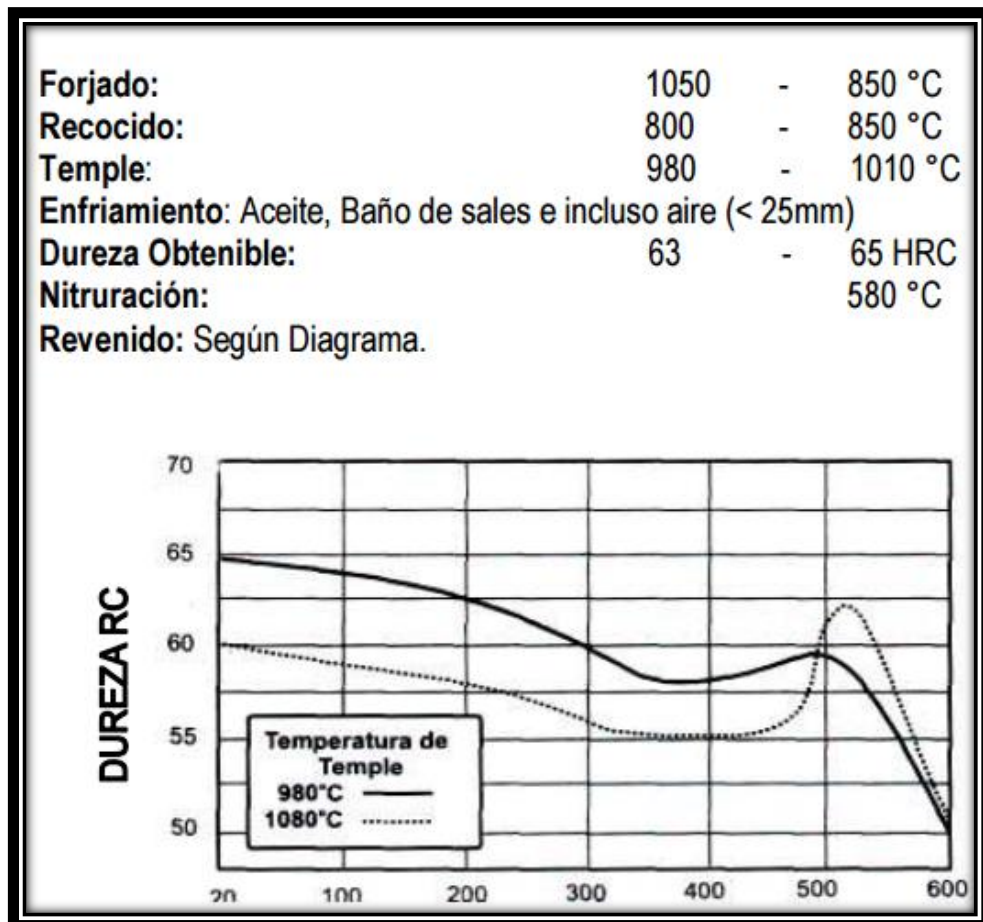
Fuente: (BÖHLER, 2012)

Como se observa en la Tabla 3, para espesores hasta 4 [mm], se puede seleccionar los aceros K105 y K110; en las cuchillas de la cizalla Edwards disponible en el laboratorio, la cuales están diseñadas para cortar hasta 3.25 [mm], se debe considerar aceros de este tipo, por ejemplo el acero K105 presenta las siguientes características.

Acero K105 (Fig. 37)

- AISI: M2
- DIN: X 165 Cr Mov 12
- W N°: 12601
- Tipo de aleación: C 1.60 Cr 11.50

Acero especial ledeburítico al 12% de cromo, aleado al molibdeno, tungsteno y vanadio, con menor contenido de carbono. Ideal en los casos donde se tiene mayores exigencias de tenacidad (BÖHLER, 2012).



**Figura 37. Tratamiento Térmico del acero K105
(BÖHLER, 2012)**

2.5. Mecanismo disponible en la cizalla Edwards

Como se mencionó en la sección **2.3.9.3** la cizalla para permitir el movimiento vertical de la cuchilla móvil, presenta un mecanismo Biela – manivela (Fig. 38).

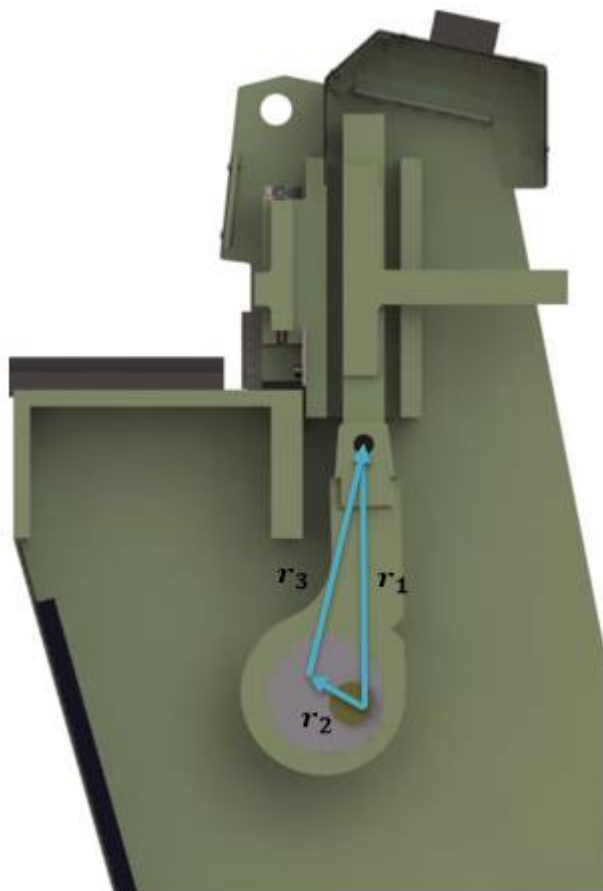


Figura 38. Mecanismo biela – manivela

Para el análisis del mecanismo partiremos del triángulo que se esquematizó en la Fig. 39.

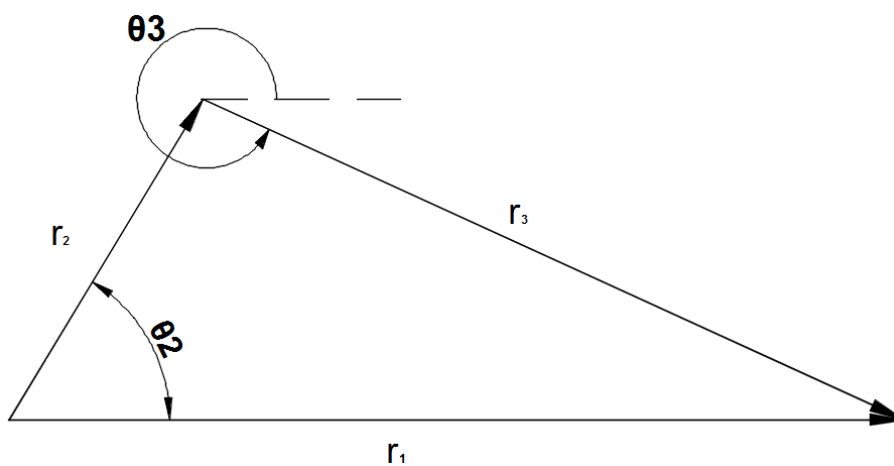


Figura 39. Análisis del mecanismo mediante vectores

Del circuito vectorial (Fig. 39), al aplicar el método del triángulo en vectores se tiene:

$$\mathbf{r}_1 = \mathbf{r}_3 + \mathbf{r}_2 \quad (2.9)$$

Al aplicar notación compleja se tiene:

$$r_1 e^{i\theta_1} = r_2 e^{i\theta_2} + r_3 e^{i\theta_3} \quad (2.10)$$

$$\theta_1 = 0^\circ$$

Se procede a aplicar la identidad de Euler y se tiene:

$$r_1(\cos 0^\circ + i \sin 0^\circ) = r_2(\cos \theta_2 + i \sin \theta_2) + r_3(\cos \theta_3 + i \sin \theta_3) \quad (2.11)$$

Al igualar la parte real con la parte imaginaria se obtiene:

$$r_1 = r_2 \cos \theta_2 + r_3 \cos \theta_3 \quad (2.12)$$

$$0 = r_2 \sin \theta_2 + r_3 \sin \theta_3 \quad (2.13)$$

θ_2 , es la variable independiente que varía de $0^\circ - 360^\circ$, por lo tanto se deja todo en función de esta; de la ecuación 2.13 se tiene:

$$\sin(\theta_3) = \left(\frac{-r_2}{r_3}\right) \sin \theta_2$$

$$(\sin(\theta_3))^2 = \left(\left(\frac{-r_2}{r_3}\right) \sin \theta_2\right)^2$$

$$\sin^2(\theta_3) = \left(\frac{r_2}{r_3}\right)^2 \sin^2(\theta_2) \quad (2.14)$$

Al aplicar la identidad trigonométrica $\sin^2(\theta_3) + \cos^2(\theta_3) = 1$ en la ecuación 2.14, se obtiene:

$$\cos(\theta_3) = \sqrt{1 - \left(\frac{r_2}{r_3}\right)^2 \sin^2 \theta_2} \quad (2.15)$$

Al reemplazar la ecuación 2.15 en la 2.13 se tiene:

$$r_1 = r_2 \cos \theta_2 + r_3 \sqrt{1 - \left(\frac{r_2}{r_3}\right)^2 \sin^2 \theta_2} \quad (2.16)$$

La ecuación 2.16, describe el desplazamiento del pistón, pero a esta se la puede simplificar, para ello nos basamos en la Fig. 40

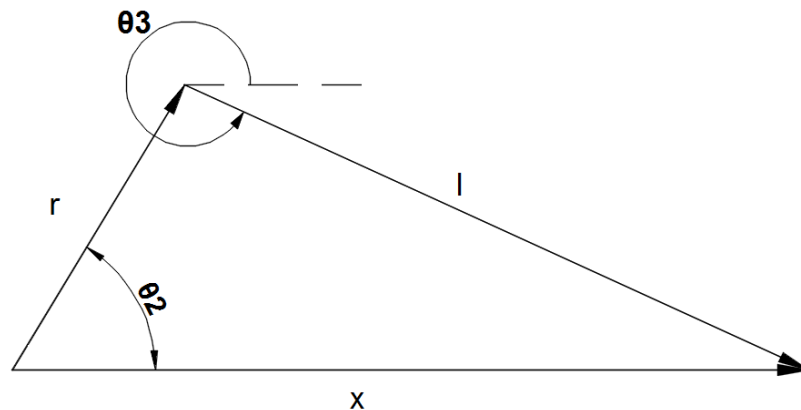


Figura 40. Cambio de nombre a los vectores

Entonces la ecuación 2.16 quedaría:

$$x(\theta_2) = r \cos \theta_2 + l * \sqrt{1 - \left(\frac{r}{l} \sin \theta_2\right)^2} \quad (2.17)$$

Si se aplica el teorema del binomio al radical de la ecuación 2.17 se tiene:

$$\left(1 - \left(\frac{r}{l} \sin \theta_2\right)^2\right)^{\frac{1}{2}} = 1 - \frac{r^2}{2 * l^2} * \sin^2 \theta_2 \quad (2.18)$$

Se procede a reemplazar la identidad trigonométrica $\sin^2 \theta_2 = \frac{1 - \cos(2 * \theta_2)}{2}$ en la ecuación 2.18.

$$\left(1 - \left(\frac{r}{l} \sin \theta_2\right)^2\right)^{\frac{1}{2}} = 1 - \frac{r^2}{4 * l^2} * (1 - \cos(2 * \theta_2)) \quad (2.19)$$

Al reemplazar la ecuación 2.19 en la 2.17, se obtiene una nueva expresión desplazamiento del pistón:

$$x(\theta_2) = l - \frac{r^2}{4 * l} + r * \left(\cos(\theta_2) + \frac{r}{4 * l} \cos(2 * \theta_2) \right) \quad (2.20)$$

Como $\theta_2 = \omega t$, se expresa el desplazamiento en función del tiempo, y sus respectivas derivadas dan como resultado la velocidad y aceleración en función del tiempo.

$$x(t) = l - \frac{r^2}{4 * l} + r * \left(\cos(\omega t) + \frac{r}{4 * l} \cos(2 * \omega t) \right) \quad (2.21)$$

$$v(t) = -r * \omega * \left(\sin(\omega t) + \frac{r}{2 * l} \sin(2 * \omega t) \right) \quad (2.22)$$

$$a(t) = -r * \omega^2 * \left(\cos(\omega t) + \frac{r}{l} \cos(2 * \omega t) \right) \quad (2.23)$$

Como ejemplo se realiza el análisis del mecanismo en Mathcad 14 (Fig. 41), usando la ecuación 2.16 y con las medidas reales del mecanismo disponible en la cizalla Edwards.

Donde:

$$r_2 = 30 \text{ [mm]}$$

$$r_3 = 305 \text{ [mm]}$$

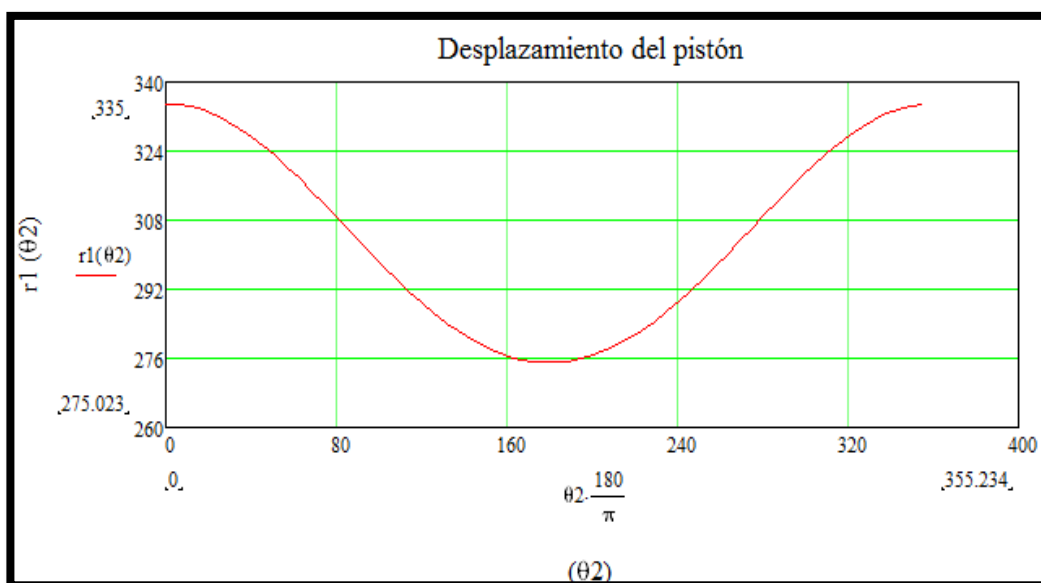


Figura 41. Desplazamiento del Pistón

Como se puede ver en la Fig. 41, al restar los puntos máximo y mínimo ($335 - 275$) = 60, se tiene que la carrera del pistón (H) es de 60 [mm], por lo tanto se cumple que la carrera del pistón es $H = 2 * r_2$

Como paso siguiente se procede al análisis de la **velocidad del pistón** igualmente tomando como referencia la Fig. 39, y derivando la ecuación vectorial 2.9.

$$\mathbf{r}'_1 = \mathbf{r}'_3 + \mathbf{r}'_2 \quad (2.24)$$

$$\mathbf{r}'_1 e^{i\theta} = \mathbf{r}'_2 e^{i\theta_2} + r_2 i \omega_2 e^{i\theta_2} + \mathbf{r}'_3 e^{i\theta_3} + r_3 i \omega_3 e^{i\theta_3}$$

$$\mathbf{r}'_1 (\cos 0^\circ + i \sin 0^\circ) = r_2 i \omega_2 (\cos \theta_2 + i \sin \theta_2) + r_3 i \omega_3 (\cos \theta_3 + i \sin \theta_3) \quad (2.25)$$

Se procede a igualar la parte real e imaginaria:

$$\mathbf{r}'_1 = -r_2 \omega_2 \sin \theta_2 - r_3 \omega_3 \sin \theta_3 \quad (2.26)$$

$$0 = r_2 \omega_2 \cos \theta_2 + r_3 \omega_3 \cos \theta_3 \quad (2.27)$$

Despejando ω_3 de la ecuación 2.27 se tiene:

$$\omega_3(\theta_2) = \frac{-r_2}{r_3} \omega_2 \frac{\cos(\theta_2)}{\cos(\theta_3(\theta_2))} \quad (2.28)$$

Se procede a reemplazar la ecuación 2.28 en la 2.26 y multiplicar a la ecuación por $\cos(\theta_3(\theta_2))$

$$r'_1 * \cos(\theta_3(\theta_2)) = \cos(\theta_3(\theta_2)) * \left(-r_2 \omega_2 * \sin \theta_2 + r_2 \omega_2 \frac{\cos(\theta_2)}{\cos(\theta_3(\theta_2))} * \sin(\theta_3(\theta_2)) \right)$$

$$r'_1 * \cos(\theta_3(\theta_2)) = r_2 \omega_2 * (\sin(\theta_3(\theta_2)) * \cos(\theta_2) * -\cos(\theta_3(\theta_2)) * \sin \theta_2)$$

Aplicando identidades trigonométricas se tiene finalmente la velocidad del pistón:

$$r'_1 = v(\theta_2) = r_2 \omega_2 \frac{\sin(\theta_3(\theta_2) - \theta_2)}{\cos(\theta_3(\theta_2))} \quad (2.29)$$

Ahora se procede a hacer el análisis en Mathcad14 (Fig. 42), considerando $\omega_2 = 6.87 \frac{rad}{s}$, que es la velocidad angular a la que trabaja la cizalla Edwards, esto debido a que el motor eléctrico de **1750[rpm]** que posee la misma tiene acoplado una caja reductora de 20:1, a través de poleas con bandas de transmisión, con una relación de $\frac{3}{4}$ (Fig. 14).

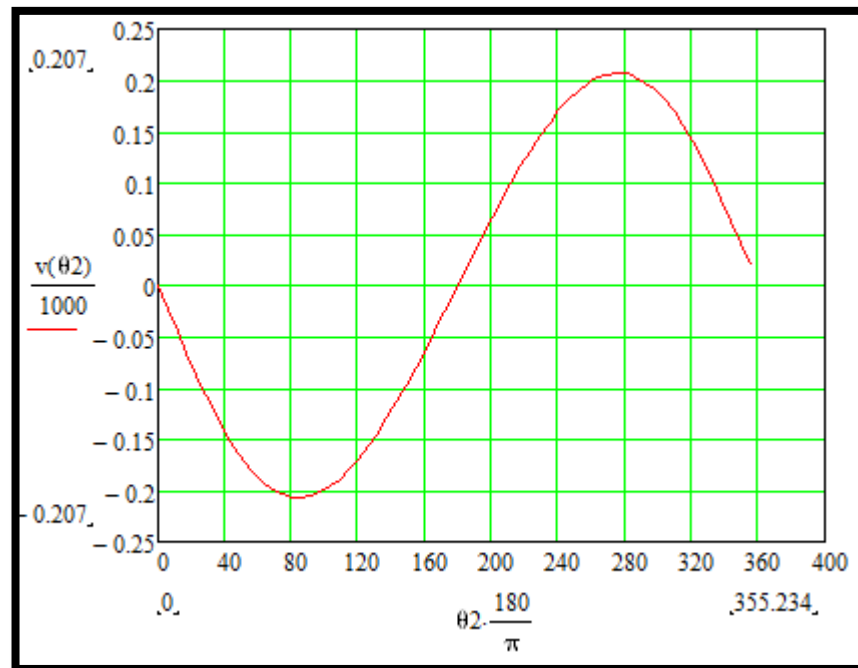


Figura 42. Velocidad del Pistón.

Como se observa en la Fig. 42 el pistón llega a la velocidad máxima $v = 0.207 \left[\frac{m}{s} \right]$, y este valor está dentro de los valores que recomienda el manual de DUBBEL, que es $v_{corte} = 0.15 - 0.30 \left[\frac{m}{s} \right]$.

2.6. Parámetros eléctricos a considerar.

Como se manifestó en la sección 2.3.9.1., la cizalla Edwards posee un motor eléctrico trifásico por ello se debe tomar en cuenta las **Curvas características** al realizar un arranque del motor.

2.6.1. Curva característica en Arranque Directo

a) Curva de Intensidad (I).

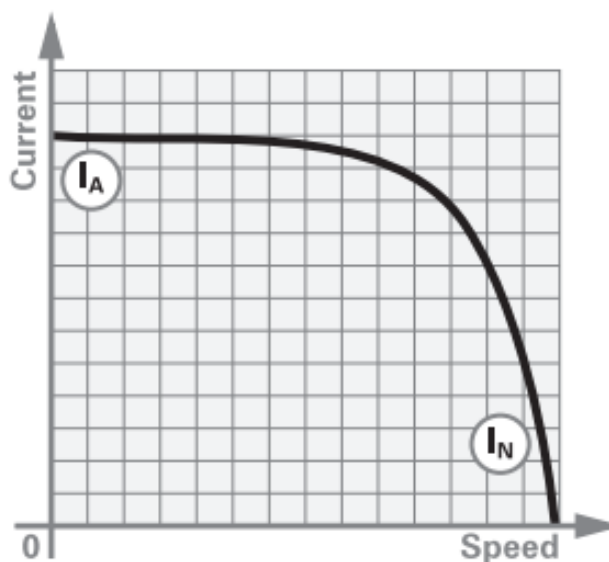


Figura 43. Curva de Intensidad (I).
(Brook Crompton, 2011)

- En esta clase de arranque, la **tensión de línea** (U_L), se aplica directamente a los bornes del motor, la conexión puede ser en estrella (λ) o en delta (Δ).
- La corriente de arranque (I_A) es de **(4 – 8)** veces la corriente nominal (I_N), (Roldán, 2003).
- Se usa este tipo de arranque en motores de pequeña y mediana potencia.
- Tensiones en el bobinado (fases) del motor (Roldán, 2003).
 - En conexión estrella

$$U_f = \frac{U_L}{\sqrt{3}} \quad (2.30)$$

- En conexión delta (Δ)

$$U_f = U_L \quad (2.31)$$

Donde:

U_L : Tensión de Línea.

U_f : Tensión de fase.

I_A : Corriente de arranque.

I_N : Corriente nominal del motor.

b) Curva de Torque (M)

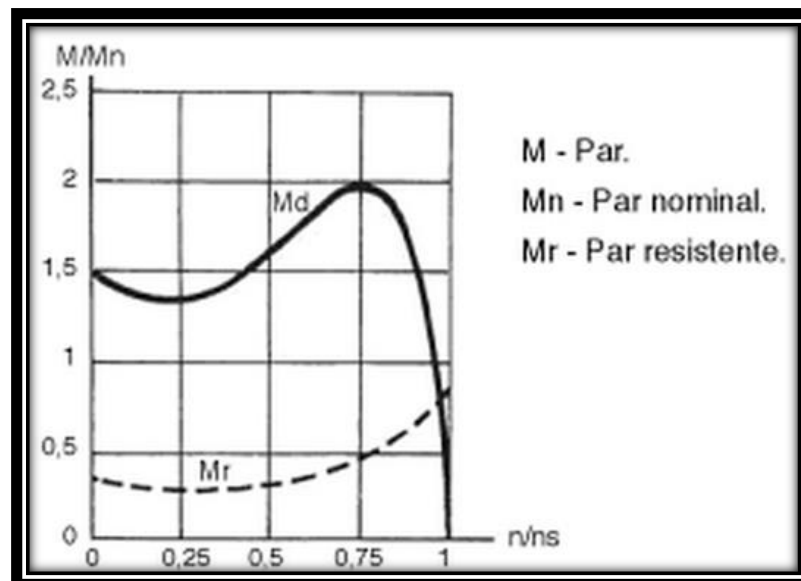


Figura 44. Curva de Torque (M)

(Roldán, 2003)

- El par de arranque en carga (M_d) es de (0.5 – 1.5) veces el par nominal (M_n), (Fig. 44).
- Cálculo del torque nominal (M_n):

$$M_n = \frac{9550 * P}{n} \quad (2.32)$$

Donde:

M_n : Torque nominal en [N.m].

M_d : Torque de arranque en carga.

P : Potencia en [KW].

n : Velocidad en [rpm]

2.6.2. Curva característica en arranque estrella – delta ($\lambda - \Delta$)

a) Curva de Intensidad (I)

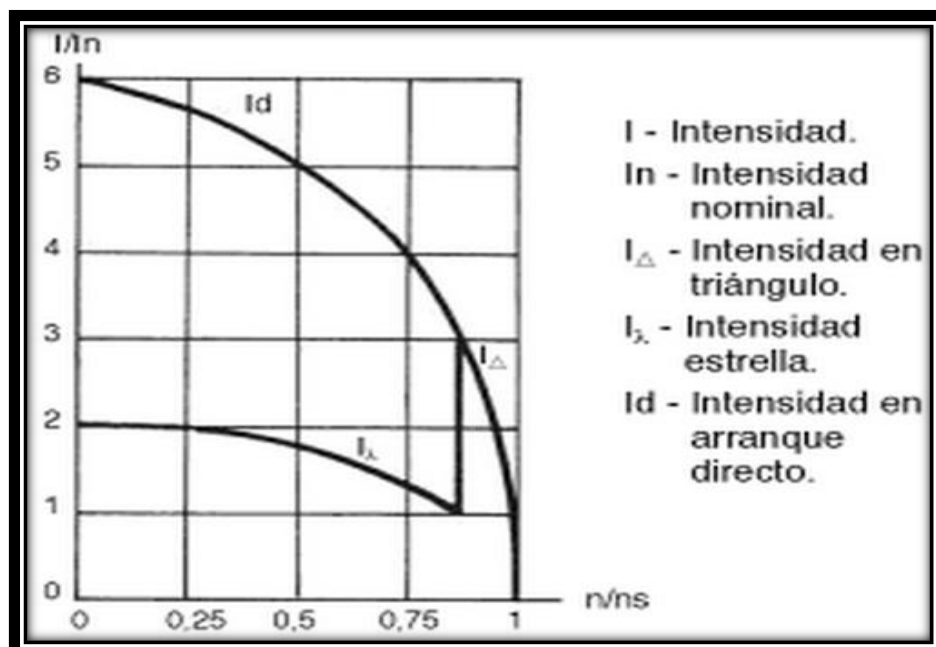


Figura 45. Curva de Intensidad (I).

(Roldán, 2003)

Para reducir la intensidad de corriente durante el periodo de arranque, se lo realiza a este en estrella – delta ($\lambda - \Delta$), y presenta las siguientes características:

- En el paso de conexión ($\lambda - \Delta$), hay un espacio de tiempo en el cual el motor se queda sin tensión.
- La corriente de arranque (I_d), es (1,8 – 2,6) veces la corriente nominal (I_n) del motor, (Roldán, 2003).
- Tiempo de arranque de 1,8 – 2,6 [s]

b) Curva de Torque (M)

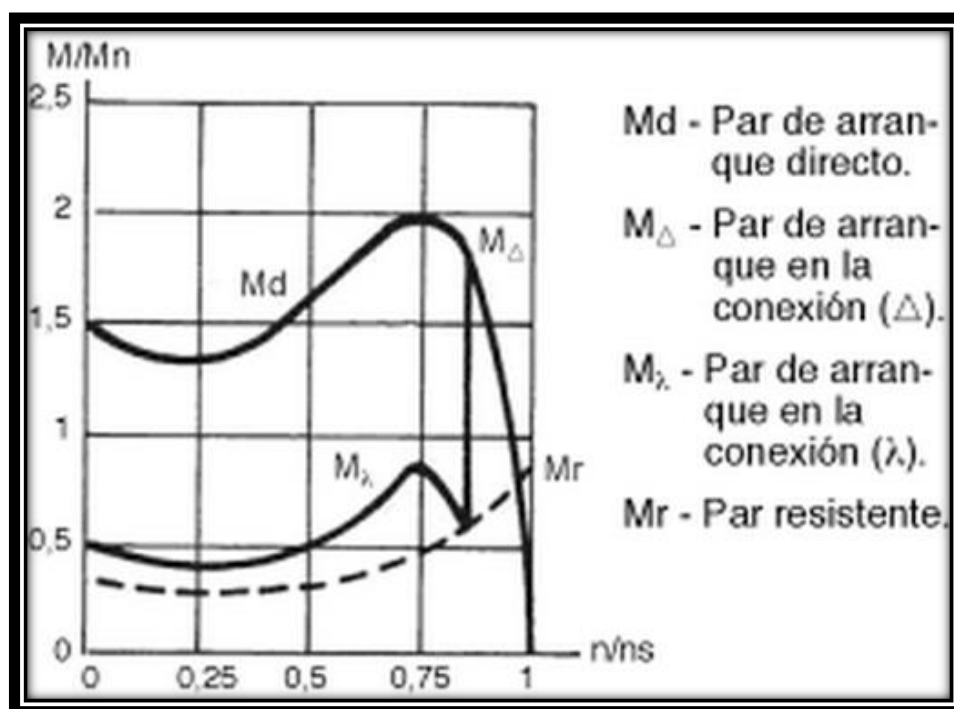


Figura 46. Curva de Torque (M)

(Roldán, 2003)

Como se observa en la Fig. 46, el par de arranque en estrella (M_λ) corresponde a $\left(\frac{1}{3}\right)$ el par de arranque en directo (M_d), por lo tanto al realizar esta conexión ($\lambda - \Delta$), se reduce el torque de arranque, y quedaría:

$$M_{\lambda} = \frac{1}{3} * M_d \quad (2.33)$$

Donde:

M_{λ} : Par de arranque en estrella.

M_d : Par de arranque en directo.

2.7. Pérdidas en cajas reductoras

Una **caja reductora** es un sistema de transmisión de potencia compuesto por engranes, que tiene como finalidad reducir la velocidad y por consiguiente aumentar el par torsión en la salida. Los engranes que conforman una caja reductora se encuentran sometidos a fricción entre sí, es por ello que es necesario que estos se encuentren lubricados, pero la cantidad de lubricante que se le debe suministrar tiene que ser de acuerdo a las recomendaciones de los fabricantes, caso contrario una cantidad excesiva de lubricante genera **pérdidas en la eficiencia de las cajas reductoras**.

2.7.1. Pérdidas por excesivo lubricante

Una forma común para lubricar cajas reductoras es la lubricación por inmersión (Fig. 47). Los engranajes están parcialmente sumergidos en el aceite en la parte inferior de la carcasa de la caja reductora, y a medida que giran durante el funcionamiento se lubrican toda la caja reductora arrastrando y salpicando de lubricante alrededor, incluyendo sobre la malla de engranajes. Arrastrar y salpicar el lubricante se llama batido.

Cuando se utiliza la lubricación por inmersión, las pérdidas de energía que surgen debido al arrastre de los engranajes en el lubricante se llaman pérdidas de batido, varios experimentos han demostrado que las pérdidas en la eficiencia de la caja reductora incrementan al aumentar la profundidad de

inmersión. Las pérdidas de alta potencia se producen porque el aceite se salpica alrededor más intensamente conforme la velocidad de rotación aumenta.

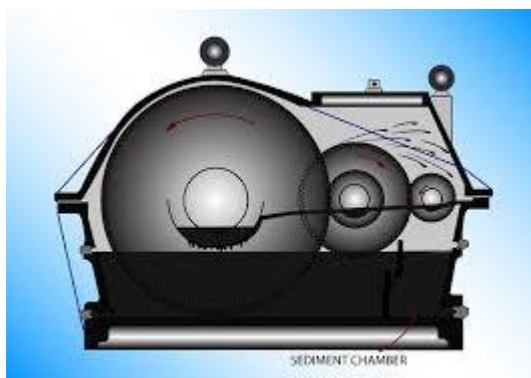


Figura 47. Lubricación por inmersión
(Paredes, 2014)

2.7.2. Reducción de pérdidas.

A continuación se indican algunos aspectos importantes que permiten reducir las pérdidas en cajas de engranajes:

- Se obtienen menores pérdidas de energía cuando se utiliza un ángulo de presión aumentado entre los engranes.
- La geometría de engranajes influye en las pérdidas de energía y según varios experimentos se ha demostrado que los tamaños de módulos más pequeños, así como los dientes de engranaje más cortos producen pérdidas de energía más bajas.
- Baja pérdida de potencia también se observa cuando la rugosidad de la superficie del engranaje es menor, es decir a medida que la superficie del engranaje es más lisa, se producen menos pérdidas por fricción que con engranajes de superficies más ásperas.

2.8. Interfaz Humano – Máquina (HMI).

Una Interfaz Humano – Máquina (HMI), como su nombre lo indica simplemente permite la interacción entre los humanos y las máquinas, se caracteriza principalmente porque permite el monitoreo y supervisión de procesos automatizados, y esto lo hace a través de ventanas de supervisión, las cuales se muestran a través de paneles táctiles (Touch-panel), computadoras y dispositivos móviles (Fig. 48).



Figura 48. Sistema HMI.
(InduSoft, 2013)

Para diseñar un sistema HMI existen muchos software de programación en el mercado actualmente, algunos de los más utilizados son TIA Portal de Siemens (Fig. 49), Wonderware Intouch (Fig. 50) y Vijeo Designer de Schneider Electric (Fig. 51).



Figura 49. TIA PORTAL.
(SIEMENS, 2013)



**Figura 50. Wonderware Intouch.
(Wonderware, 2014)**



**Figura 51. Touch Panel programado con Vijeo Designer.
(Schneider Electric, 2011)**

3. CAPÍTULO 3

IDENTIFICACIÓN DE LAS ESPECIFICACIONES

En este capítulo es donde se determinan las características funcionales que debe tener un producto, basándose en las demandas por parte de los potenciales usuarios.

3.1. Desarrollo de la función de calidad (QFD).

Quality Function Deployment – QFD, que significa Despliegue de la Función de Calidad, es una manera técnica de definir un producto o servicio siempre y cuando se considere las necesidades y requerimientos de los usuarios. (Riba, 2002)

El libro de Diseño concurrente (Riba, 2002) muestra los pasos necesarios para desplegar la Función de Calidad:

Paso 1: La voz del usuario (Fig. 52).

1	B	Cuidado del operario ante accidentes
2	B	Fácil manejo
3	B	Garantía
4	O	Visualización de longitud a cortar del tol
5	O	Manejo de la máquina a través de una pantalla táctil
6	E	Control de acceso en el manejo de la cizalla
7	E	Bajo Costo

Figura 52. Demandas de los Usuarios.

Representa las demandas de los usuarios (Fig. 52), y pueden ser de tres tipos: básicas (B), unidimensionales (O), estimulantes (E).

A través de preguntas a estudiantes y a los laboratoristas y basándose en la descripción de los requerimientos y deseos de estos, se logró establecer las demandas.

Como es lógico las **demandas básicas** son aquellas que el usuario rápidamente establece al momento de preguntarle acerca de lo que desea en la máquina – herramienta.

- Cuidado del operario ante posibles accidentes.
- Fácil manejo.
- Garantía.

Las **demandas unidimensionales** son aquellas que causan novedad en los usuarios, por lo general tienen que ver con parámetros de automatización.

- Visualización de longitud a cortar del tol.
- Manejo de la máquina a través de una pantalla táctil.

Las **demandas estimulantes** son las que diferencian a un producto de otro.

- Control de acceso en el manejo de la cizalla, dependiendo quién lo use.
- Bajo Costo.

Paso 2: Análisis de la competencia (Fig. 53)

Se refiere al grado de satisfacción que proporciona el producto con respecto a los de la competencia (Riba, 2002).

A	B	C	D	E	F	G	H	I
Producto propio	Competencia 1	Competencia 2	Objetivos	Índice de mejora	Factor de venta	Importancia	Ponderación	Ponderación en %
4	4	4	4	1	1,5	4	6	12,03
4	3	4	5	1,25	1,5	4	7,5	15,04
4	5	5	5	1,25	1,5	5	9,375	18,8
5	4	4	5	1	1,5	5	7,5	15,04
5	5	5	5	1	1,5	5	7,5	15,04
5	3	1	5	1	1	4	4	8,02
3	4	3	5	1,667	1,2	4	8	16,04
							49,88	100

Figura 53. Análisis de la competencia.

Consiste en evaluar por columna el cumplimiento de las demandas planteadas en el paso 1, esto se lo hace con el producto propio y el de la competencia, además se establecen los objetivos a cumplir en relación a las demandas (valores de 1 – 5), el índice de mejora que la empresa se propone para cada demanda (objetivos/producto propio) y el factor de venta dependiendo de si la demanda representa un punto fuerte en la venta (con 1: ningún; 1,2: posible; 1.5: fuerte), la importancia de esa demanda de acuerdo a la opinión de los usuarios (valores de 1 – 5), la ponderación de la demanda ($P = \text{índice de mejora} * \text{factor de venta} * \text{importancia}$), y su ponderación porcentual.

Paso 3: La voz del ingeniero (Fig. 54)

Consiste en pasar las demandas (“voz del usuario”) a características técnicas en el producto.

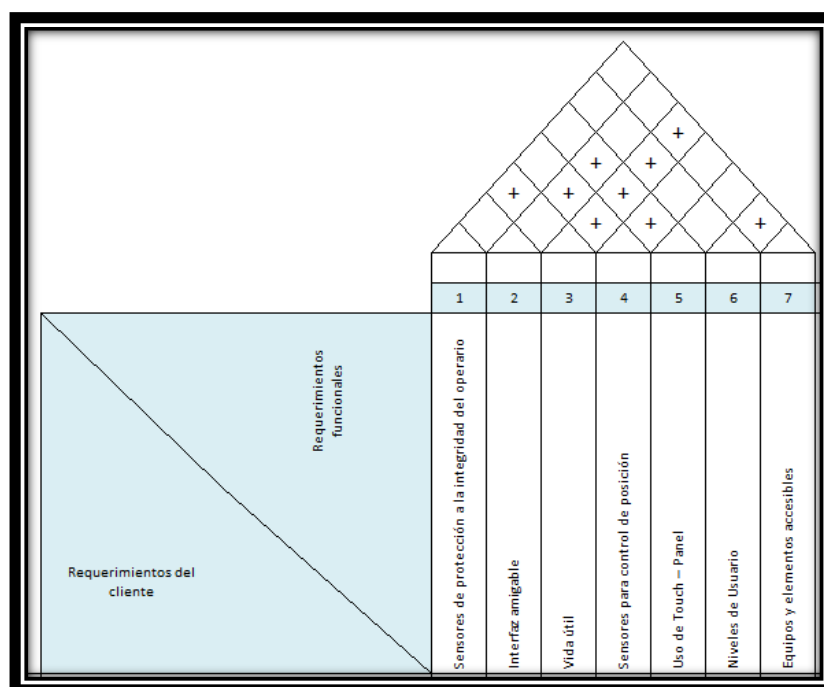


Figura 54. La voz del Ingeniero.

- Cuidado del operario ante posibles accidentes = Sensores de protección a la integridad del operario.
- Fácil manejo= Interfaz amigable.
- Garantía = Vida útil.
- Visualización de longitud a cortar del tol = Sensores para control de posición.
- Manejo de la máquina a través de una pantalla táctil = Uso de Touch – Panel.
- Control de acceso en el manejo de la cizalla, dependiendo quién lo use = Niveles de Usuario.
- Bajo costo = Equipos y elementos accesibles.

Paso 4: Correlaciones (Fig. 55)

Básicamente las correlaciones entre la voz de los usuarios y la voz del Ingeniero.

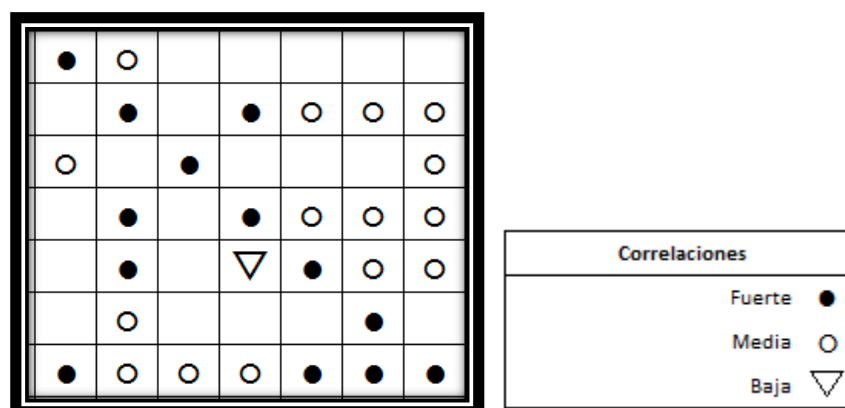


Figura 55. Correlaciones

Paso 5: Evaluación técnica (Fig. 56)

Producto propio	3	5	4	5	5	5	5	
Competencia 1	3	4	5	5	4	3	4	
Competencia 2	3	5	5	5	4	1	2	
Incidencia	126	270	112,5	165	180	108	168	1130
Incidencia en %	11,16	23,9	9,96	14,61	15,94	9,562	14,87	100

Figura 56. Evaluación técnica

Representa la evaluación de la incidencia de cada característica técnica en la satisfacción de las demandas del usuario. Para ello se calcula cada incidencia en base al sumatorio de los factores de incidencia, función de cada correlación (fuerte = 9; mediana = 3; débil = 1), por el correspondiente valor de la ponderación de la demanda. (Riba, 2002)

Paso 6: Compromisos técnicos (Fig. 57)

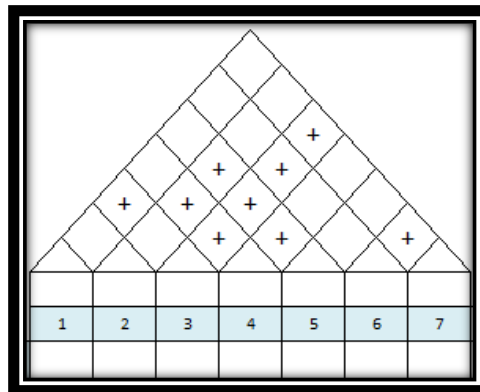


Figura 57. Compromisos técnicos

Define los compromisos potenciales entre las características técnicas del producto (Riba, 2002).

- Positiva (+): al mejorar una característica técnica también mejora la otra.
- Negativa (-): Al mejorar una característica técnica empeora la otra.
- Sin correlación (): Las variaciones no tienen influencia.

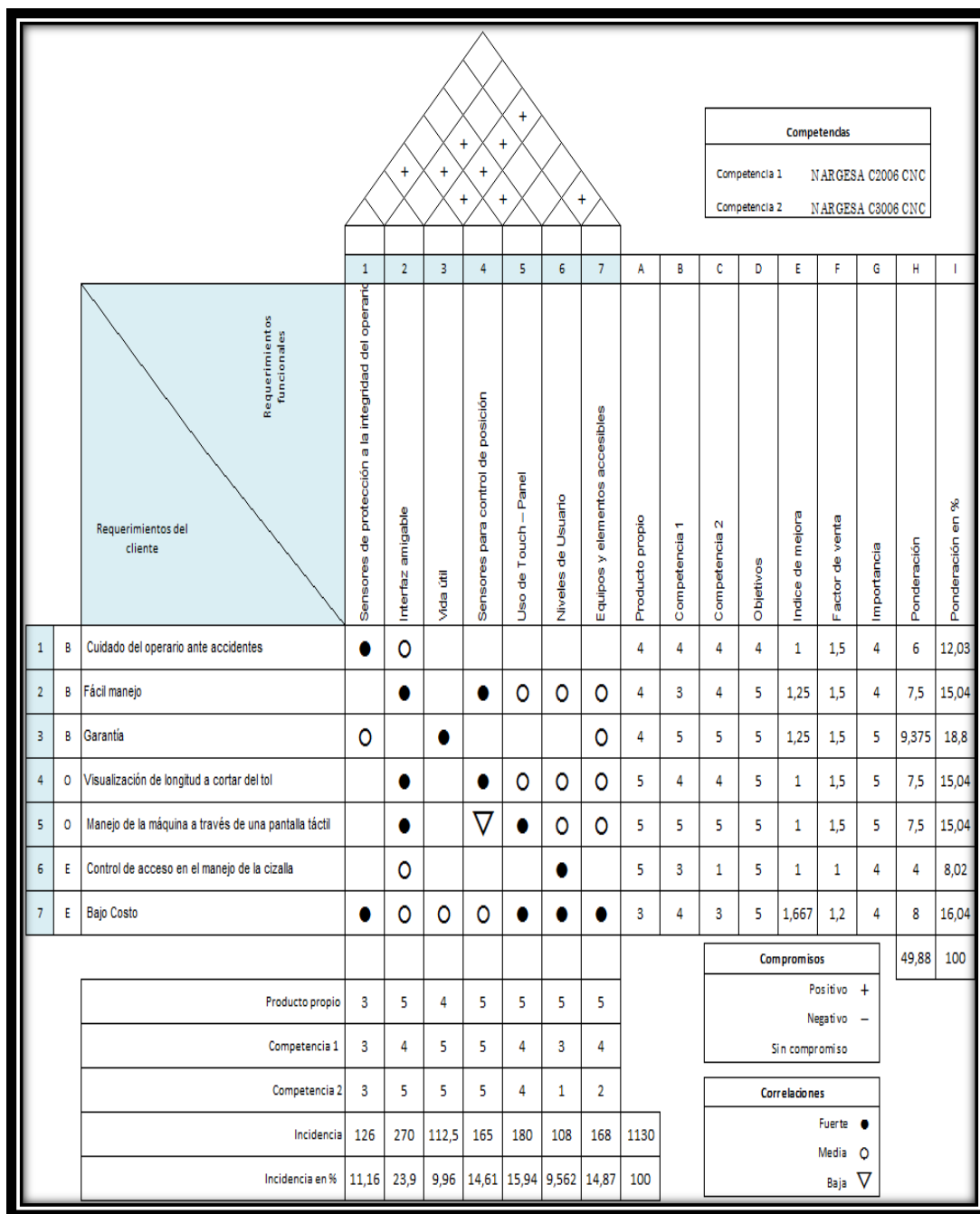


Figura 58. Casa de la calidad aplicada al proyecto.

Como se observa en la Fig. 58 el parámetro más importante o más significativo es una **interfaz amigable** y el menos importante es los **niveles de usuarios**, y basándose en estos resultados se escogerá los componentes apropiados para el proyecto.

3.2. Especificación del producto.

Una vez establecidas las demandas se debe realizar las especificaciones funcionales del producto.

Cuadro 1.

Lista de especificaciones del equipo

Conceptos	Determinaciones
Interfaz amigable	<ul style="list-style-type: none"> • Interactiva a través de un Touch – Panel. • Elaborada de acuerdo a la guía GEDIS. • Ventanas y mensajes emergentes en caso de errores.
Sensores de protección a la integridad del operario	<ul style="list-style-type: none"> • Se dispondrá de una barrera laser que detendrá la cizalla en caso que la integridad del usuario esté en peligro. • La cizalla no entrará en funcionamiento en caso que la barrera laser esté interrumpida por las extremidades del operador. • También se dispondrá de un botón de paro de emergencia ante cualquier eventualidad.
Sensores para control de posición	<ul style="list-style-type: none"> • La cizalla posee una regla que sirve de tope con la cual se mide la longitud a cortar de tol, para ello se usará un encoder que permita realizar un control de posición. • Después de implementar el control de posición, se podrá visualizar a través de displays la longitud a cortar de tol. • Además existirá un control del espesor de la plancha de tol a cortar, es decir, la máquina estará configurada para un espesor máximo permitido (2.5 [mm]) a través de un sensor capacitivo.
Equipos y elementos accesibles	<ul style="list-style-type: none"> • Se tiene planificado utilizar un microcontrolador y un PLC para el control de la cizalla, para ello se tomará muy en cuenta tanto el equipo (Hardware), así como el software a utilizar que tendrá que ser uno libre, o en caso de no serlo al menos aquellos fabricantes que dispongan de versiones gratuitas en equipos para aplicaciones básicas, tal es el caso de Schneider o Siemens.
Vida útil	<ul style="list-style-type: none"> • Se dispondrá de un manual de servicio (mantenimiento). • Todos los equipos tendrán las protecciones recomendadas por los fabricantes de los mismos.

CONTINÚA →

Niveles de Usuario

- Se iniciará sesión como Estudiante o Ingeniero.
 - La cizalla no se activará en caso de que no se inicie sesión.
-

4. CAPÍTULO 4

DISEÑO CONCEPTUAL.

Aquí se establecen los módulos con los que contará el sistema a implementarse, con la finalidad que estos se puedan instalar progresivamente independientemente uno de otro y así realizar las respectivas pruebas y proceder a realizar las correspondientes correcciones en el desarrollo del proyecto.

4.1. Estructura funcional.

Para el desarrollo de la estructura funcional de un proceso de cizallado, es necesario entender el manejo y uso de la cizalla. En la estructura funcional se detallan los pasos a seguir en el proceso de cizallado.

A continuación se detallan en un diagrama de bloques la secuencia funcional para el uso de la cizalla (Fig. 59), pero antes es necesario reconocer la simbología representativa de cada una de las flechas de trabajo dentro de la estructura funcional:

Línea entrecortada: Representa el flujo de una señal o procesos que proyecta el sistema.

Línea continua: Representa el flujo de energía que interviene en el proceso.

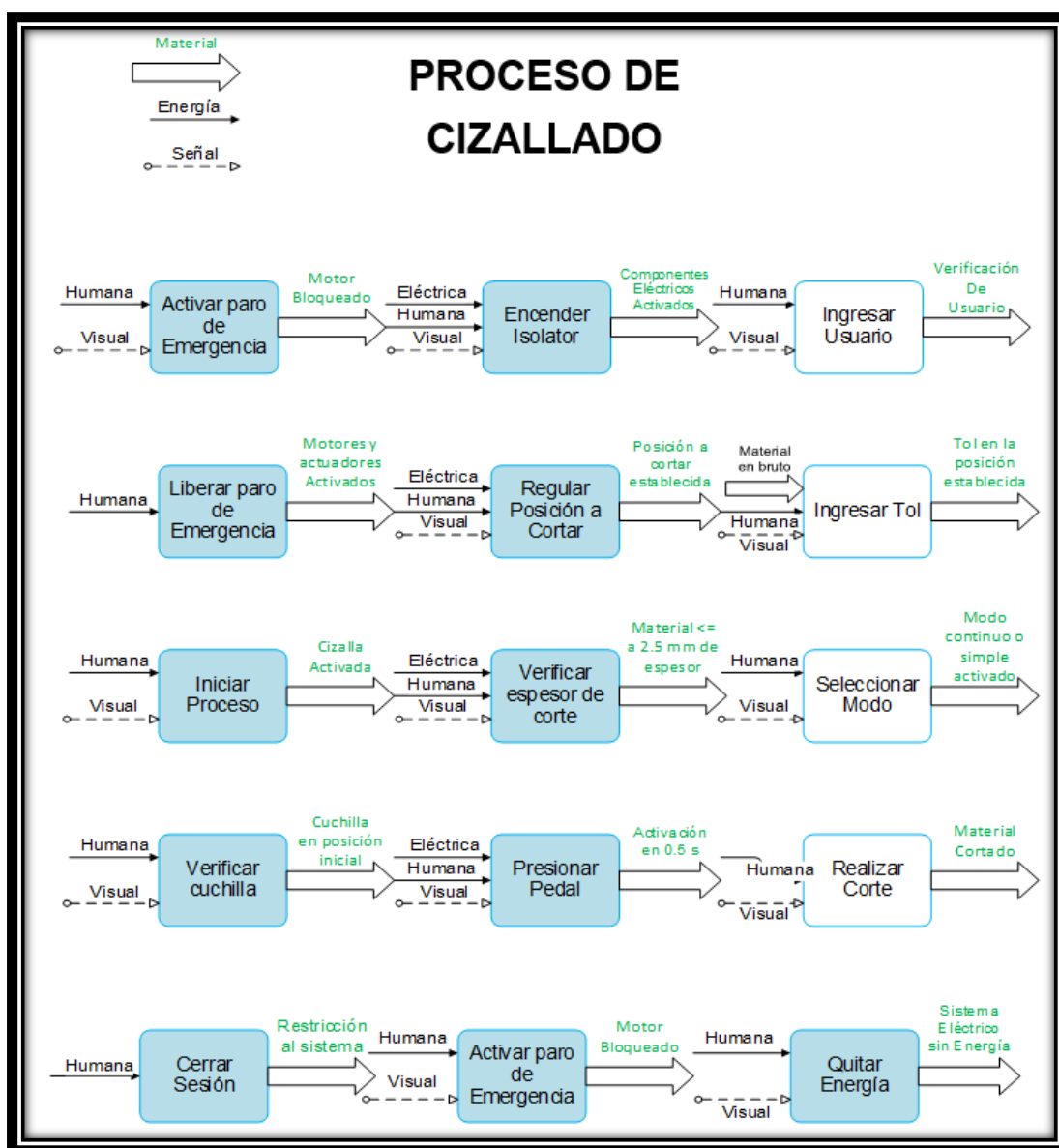


Figura 59. Estructura Funcional.

4.2. Modularidad del equipo.

El fin de la modularidad del proyecto es la de crear subsistemas que permitan distribuir de mejor manera las diversas acciones. Para el desarrollo del proyecto se presenta el cuadro siguiente:

Cuadro 2.**Modularidad del Equipo.**

Módulos	Requerimientos Funcionales	Estructura Funcional
Módulo I	Sensor de presencia Parámetros de corte Sensor de desplazamiento	Seguridad del operador Limitar espesor de corte Determinar longitud a cortar
Módulo II	Controlador Ingreso al sistema	Operar el sistema Limitar el acceso
Módulo III	Fuente de alimentación Amplificación eléctrica	Proteger equipos del sistema Pasar de niveles TTL a corriente alterna
Módulo IV	Interfaz Humano-Máquina Indicadores numéricos Indicadores Luminosos	Medio de Comunicación (operario-máquina) Indicador de parámetros Indicador de Seguridad

5. CAPÍTULO 5

DISEÑO DE MATERIALIZACIÓN.

En esta sección se elabora un diseño de materialización donde se identifican parámetros críticos y limitadores del equipo, luego tomando en cuenta estos se evalúan o seleccionan alternativas de diseño para los equipos y componentes que se encargarán de realizar las funciones de cada módulo.

5.1. Identificación de los Requerimientos limitadores.

Se tiene los requerimientos limitadores en la tabla 4 propios del proyecto ya sean por limitaciones físicas, funcionales o económicas, entre los cuales se detallan.

Tabla 4.

Requerimientos Limitadores.

Requerimientos Limitadores	
1	Precisión de 100 [μm] (0.1 [mm])
2	Menor cantidad de modificaciones físicas.
3	Menor impacto en la manipulación de los controles propios.
4	Robustez de los sensores a ruidos eléctricos, golpes, humedad.
5	Menor impacto al funcionamiento de cizalla.
6	Costo de Inversión.
7	Disponibilidad en el mercado nacional.

Los requerimientos limitadores son limitantes a las posibles soluciones que se quieran aplicar al proyecto.

Para proponer una solución adecuada se debe tomar en cuenta los parámetros de: requerimientos funcionales, establecimiento de la modularidad y los requerimientos limitadores.

5.2. Alternativas de diseño y materialización preliminar.

5.2.1. Módulo I.

Hace referencia a la activación de las entradas del sistema realizadas a través de los sensores y botoneras, se propone algunas posibles soluciones como son:

5.2.1.1. Parámetros de corte.

- **Sensor Inductivo**

Los sensores inductivos son una clase especial de sensores que sirve para detectar materiales metálicos ferrosos, (Fig. 60).

El sensor de proximidad inductivo utiliza detección sin contacto y circuitos de estado sólido para asegurar la durabilidad en los ambientes más agresivos.

No existe energía mecánica que haga que el sensor cambie de estado, el sensor de proximidad depende de la energía eléctrica para cambiar de estado.



Figura 60. Sensor Capacitivo.
(Direct-Industry, 2014)

Los sensores inductivos detectan objetos metálicos en áreas de exploración generalmente muy pequeñas. El diámetro del sensor es el factor decisivo para la distancia de conmutación, que con frecuencia es de solo unos cuantos milímetros. Por otra parte, los sensores inductivos son rápidos, precisos y extremadamente resistentes.

En la tabla siguiente se presentan las características de funcionamiento del sensor inductivo.

Tabla 5.
Características del Sensor Inductivo.

Características	
Tensión de alimentación.	24±1 [VDC]
Tensión de salida.	0-24 [V]
Corriente Nominal.	40 [mA]
Rango de Medida.	0-5 [mm]
Tiempo de respuesta.	>700 [ms]
Precisión.	5.93%
Repetitividad.	1.86%
Resolución.	± 0.1 [mm]

Tabla 6.
Ventajas y desventajas del Sensor Inductivo

Ventajas	Desventajas
No están en contacto directo con el objeto a detectar.	Solo detectan la presencia de objetos metálicos.
No se desgastan.	
Tienen un tiempo de reacción muy reducido.	Pueden verse afectados por campos electromagnéticos intensos.
Tiempo de vida largo e independiente del número de detecciones.	
Son insensibles al polvo y a la humedad.	El margen de operación es más corto en comparación con los otros sensores
Incluyen indicadores LED de estado y tienen una estructura modular.	

- **Sensor Capacitivo**

Los detectores capacitivos son “interruptores electrónicos” de característica estática que actúan sin elementos electromecánicos (Fig. 61). Su funcionamiento se basa en un circuito oscilante RC y las líneas del campo eléctrico que se cierran a través del aire. La aproximación de un objeto con una constante dieléctrica superior a la del aire, ocasiona el desequilibrio del circuito y el inicio de las oscilaciones.



Figura 61. Sensor Capacitivo.
(Direct-Industry, 2014)

Estos sensores detectan la mayoría de objetos y el nivel de llenado de materiales no conductores, líquido, granulado y polvo directamente o a través de la pared de contenedores no metálicos.

Tabla 7.

Especificaciones Técnicas del Sensor Capacitivo.

Características	
Rango Max de medida	6 [mm]
Rango min de medida	0-0.5 [mm]
Max frecuencia conmutación	500 [Hz]
Alimentación	10 - 35 [VDC]
Temperatura ambiente	25°C 70°C
Grado de Protección	IP 67

Tabla 8.

Ventajas y Desventajas Sensor Capacitivo.

Ventajas	Desventajas
Detectan objetos sin independencia de material, color o textura.	El alcance del sensor depende del diámetro del mismo.
Detectan sin necesidad de contacto físico.	Afectados por campos electromagnéticos.
Buena adaptación a los entornos industriales.	Alta impedancia de salida.
Soporta bien las cadencias de funcionamiento elevadas.	Necesidad de apantallamiento.
Simplicidad mecánica.	Utilización de guardas.
Alta resolución y sensibilidad.	

- **Sensores de Efecto Hall.**

Los sensores de efecto hall (Fig. 62), utilizan una modificación de un campo magnético por presencia de objetos metálicos. El efecto Hall relaciona la tensión entre dos puntos de un material conductor o semiconductor con un campo magnético a través de un material.

Estos sensores son dispositivos de estado sólido los cuales forman un circuito eléctrico y, que cuando pasan a través de un campo magnético, el valor del voltaje del circuito varía dependiendo de un valor absoluto de la densidad del flujo.



Figura 62. Sensores de Efecto Hall.

(Sigma-Electrónica, 2015)

Tabla 9.

Especificaciones Técnicas del Sensor de Efecto Hall.

Características	
Tensión de Alimentación	4.5 – 6 [V]
Corriente de Alimentación	14 [mA]
Sensibilidad	1.72 [mV/G]
Ancho de Banda (-3db)	23 [KHz]
Resistencia de salida	50 [Ω]
Histéresis	52 G

Tabla 10.

Ventajas y Desventajas del Sensor de Efecto Hall.

Ventajas.	Desventajas.
Sensor de pequeñas dimensiones.	Tres líneas de conexión para cada sensor.
Fácil adquisición.	Costo elevado.
Fácil manejo de la señal de salida.	Necesidad de un campo magnético.

5.2.1.2. Sensores de Presencia.

- **Sensores Laser.**

Los detectores de presencia (Fig. 63), son componentes habituales en las instalaciones de seguridad, cuya función es verificar la presencia de personas en un espacio determinado y, si se produce la detección, activar una señal de alarma.



Figura 63. Sensor Laser
(Rockwell-Automation, 2013)

En el caso de la iluminación, los detectores de presencia sirven para conectar o desconectar el proceso en respuesta a la presencia o ausencia de ocupantes en el mismo.

Así, el control de encendido y apagado se realiza automáticamente, sin intervención activa de los usuarios, de manera que el detector desconecta el proceso cuando no hay personas que sufran algún daño.

En la tabla siguiente se presentan las características de funcionamiento del sensor laser.

Tabla 11.

Características del Sensor Laser.

Características	
Rango por defecto	100 a 1000 [mm]
Salida Analógica	4-20 [mA] o 0-10 [VDC]
Tiempo de respuesta	2 [ms]
Temperatura de Trabajo	20°C-50°C
Cuerpo de fundición	Protección IP67.
Alimentación	12 a 30 [VDC]
Alta repetitividad y precisión	En situaciones adversas.

Tabla 12.

Ventajas y desventajas del Sensor Laser.

Ventajas	Desventajas
Para medir grandes distancias.	Precio muy alto No siempre son visibles.
Son de gran precisión.	
Funcionan mediante un barrido del emisor.	
El receptor recoge los ecos de las distintas posiciones del barrido, obteniendo el contorno de la escena.	
Detección segura de objetos transparentes.	
Posibilidad de desvanecimiento gradual del fondo.	
Tolerancia a entornos sucios.	

- **Sensor Fotoeléctrico.**

Los sensores fotoeléctricos (Fig. 64), usan un haz de luz para detectar la presencia o la ausencia de un objeto. Esta tecnología es una alternativa ideal a sensores de proximidad inductivos cuando se requieren distancias de detección largas o cuando el ítem que se desea detectar no es metálico. Estos sensores fotoeléctricos satisfacen aplicaciones que se encuentran en muchas industrias, tales como manejo de materiales, empaquetado, procesamiento de alimentos y transporte.



**Figura 64. Sensor Fotoeléctrico
(Rockwell-Automation, 2013)**

Su función principal es la detección de todo tipo de objetos independientemente de la distancia.

Tabla 13.

Características del Sensor Fotoeléctrico.

Características	
Alimentación	10 a 30 V [DC] a 50 [mA] Max.
Protección alimentación	Contra inversión de polaridad.
Configuración de salida	Bipolar (1 NPN y 1 PNP) estado sólido.
Repetitividad	175 microsegundos.
Frecuencia de conmutación	Modelos opuestos: 385 [Hz].
Temperatura operación	-20° a 55°C
Humedad relativa	90% Max a 50 % no condensado.
Conexión	2m a 9m cable PVC incluido, o 150 [mm] pigtail con rosca.

Tabla 14.

Ventajas y Desventajas Sensor Fotoeléctrico.

Ventajas	Desventajas
Elevado margen para ambientes contaminados.	Más costoso ya que requiere que el Emisor y el Receptor estén separados, además del cableado adicional.
Largo alcance.	No es capaz de detectar objetos transparentes, solo objetos opacos.
No se ve afectado por reflejos de segunda superficie.	
Detección muy precisa y reproducibilidad elevada.	La alineación es de gran importancia.
Adecuado al usar objetos muy reflectivos.	

5.2.1.3. Sensor de Desplazamiento.

- **Encoder Rotatorio.**

Los codificadores rotatorios (conocidos genéricamente como encoders) son mecanismos utilizados para entregar la posición, velocidad y aceleración del rotor de un motor (Fig. 65). Sus principales aplicaciones incluyen aplicaciones en robótica, lentes fotográficas, aplicaciones industriales que requieren medición angular, militares, etc.

Un codificador rotatorio es un dispositivo electromecánico que convierte la posición angular de un eje, directamente a un código digital.



Figura 65. Codificador Rotatorio
(Direct-Industry, 2014)

Tabla 15.

Características del Encoder.

Características	
Alimentación	5- 24 V [DC]
Pulsos por revolución	600P/R-600
Frecuencia	0-20 [KHz]
Temperatura de Trabajo	-10°C – 85°C
Desfase de salida	90°, 45°
Humedad en trabajo	38 -85 % (Sin Condensación)
Tipo de protección	IP 50
Consumo de Corriente	<50 [mA]

Tabla 16.

Ventajas y Desventajas Sensor Fotoeléctrico.

Ventajas	Desventajas
Alta resolución.	Complejidad en el Montaje.
Aislamiento a ruidos eléctricos.	No aplica en entornos industriales.
Fácil uso.	No dispone de comunicación serial.
Bajo Costo.	Caídas de tensión a largas distancias.

- **Encoder Lineal.**

Un encoder lineal (Fig. 66) es un dispositivo o sensor que cuenta con una escala graduada para determinar su posición. Los sensores en el encoder leen la escala para después convertir su posición codificada en una señal digital que puede ser interpretada por un controlador de movimiento electrónico.

Los encoders lineales pueden ser absolutos o incrementales y existen diferentes tipos de encoders lineales según la tecnología usada en su mecanismo, por ejemplo, tecnología óptica, magnética, inductiva o capacitiva.

Este tipo de encoder es más utilizado en aplicaciones de metrología, sistemas de movimiento y para controlar instrumentos de alta precisión utilizados en la fabricación de herramientas.



**Figura 66. Encoder Lineal
(NEWALL, 2012)**

Tabla 17.

Características Encoder Lineal.

Características	
Longitud de lectura	700 [mm]
Resolución	5 [μm]
Tipo de encoder	Óptico
Nivel de voltaje	TTL
Salidas de encoder	A, B, Z
Tipo de cable	Flexible apantallado.
Longitud de cable	3 [m]
Protección	IP53

Tabla 18.

Ventajas y Desventajas Encoder Lineal.

Ventajas	Desventajas
Buena precisión.	Alto costo.
Fácil Montaje.	Poca estética en el montaje.
	Longitud de lectura mayor a la necesaria.
Protección contra ruido eléctrico.	Complejidad de uso.

- **Sensor Ultrasónico**

El sensor ultrasónico (Fig. 67), emite cíclicamente un impulso acústico de alta frecuencia y corta duración. Este impulso se propaga a la velocidad del sonido por el aire.



Figura 67. Sensor Ultrasónico
(Sigma-Electrónica, 2015)

Los sensores ultrasónicos son dispositivos autónomos de estado sólido diseñados para la detección sin contacto de objetos sólidos y líquidos. Para muchas aplicaciones, tales como el monitoreo del nivel de agua en un tanque, la tecnología ultrasónica permite que un dispositivo haga el trabajo que de otro modo requeriría varios sensores.

Tabla 19.

Características Sensor Ultrasónico.

Características	
Corriente de Operación	15 [mA]
Voltaje de Operación	5 V [DC]
Frecuencia de Operación	40 Hz
Max Rango de Emisión	4m
Min Rango de Emisión	2 [cm]
Ángulo de medición	15 grados

Tabla 20.

Ventajas y Desventajas Sensor Ultrasónico.

Ventajas	Desventajas
Rango relativamente amplio.	Las superficies pulidas agravan el problema de detección.
Detección del objeto independiente del color y del material.	
Relativamente insensibles a la suciedad y al polvo.	Las medidas de objetos lejanos pueden ser erróneas.
La zona de detección puede dividirse a voluntad.	
Detección segura de objetos transparentes.	Cuanto menos sea el ángulo, mayor es la probabilidad de perderse y producir falsas medidas de gran longitud.
Posibilidad de desvanecimiento gradual del fondo.	

5.2.2. Módulo II.

5.2.2.1. Controlador del proceso.

- **PLC**

La palabra PLC es el acrónimo de Controlador Lógico Programable (en inglés Programmable Logic Controller).

Es un dispositivo de estado sólido, diseñado para controlar procesos secuenciales (una etapa después de la otra) que se ejecutan en un ambiente industrial. Es decir, que van asociados a la maquinaria que desarrolla procesos de producción y controlan su trabajo.

El PLC (Fig. 68), que puede ser programado por el usuario y se utiliza en la industria para resolver problemas de secuencias en la maquinaria o procesos, ahorrando costos en mantenimiento y aumentando la confiabilidad de los equipos. Es importante conocer sus generalidades y lo que un PLC puede hacer, pues se podría estar gastando mucho dinero en mantenimiento y reparaciones.



Figura 68. PLC TWIDO

(Schneider Electric, 2011)

En la actualidad el campo de aplicación de un PLC es muy extenso. Se utilizan fundamentalmente en procesos de maniobras de máquinas, control, señalización, etc. La aplicación de un PLC abarca procesos industriales de cualquier tipo y ofrecen conexión a red; esto permite tener comunicado un PLC con una PC y otros dispositivos al mismo tiempo, permitiendo hacer monitoreo, estadísticas y reportes.

Tabla 21.

Características del PLC

Características	
Tensión de Entrada.	12,24,48, 120 [V DC]
Margen de entrada para nivel 1.	> 65% de la tensión nominal.
Corriente en estado 1.	2 a 10 [mA]
Impedancia de entrada.	800 a 12 [KΩ]
Velocidad de Transmisión.	45[Mbps]
Conexión de datos permanentes.	Activa las 24 horas del día.
Número de entradas por módulos.	4,8,16 o 32
Conexión Externa.	Lógica positiva (PNP) o lógica negativa (NPN)

Tabla 22.

Ventajas y desventajas del PLC.

Ventajas	Desventajas
Menor tiempo empleado en la elaboración de proyectos.	Hace falta un programador, lo que exige la preparación de los técnicos en su etapa de formación.
Posibilidad de introducir modificaciones sin cambiar el cableado y añadir aparatos.	
Mínimo espacio de ocupación.	
Posibilidad de gobernar varias máquinas con un mismo autómatas.	La inversión inicial es mayor que en el caso de los relés, aunque ello es relativo en función del proceso que se desea controlar.
Menor tiempo para la puesta en funcionamiento del proceso al quedar reducido el tiempo de cableado.	

- **Arduino.**

Arduino (Fig. 69), es una plataforma de hardware libre, basada en una placa con un microcontrolador y un entorno de desarrollo, diseñada para facilitar el uso de la electrónica en proyectos multidisciplinarios.

El hardware consiste en una placa con un microcontrolador Atmel AVR y puertos de entrada/salida. Los microcontroladores más usados son el Atmega168, Atmega328, Atmega1280, y Atmega8 por su sencillez y bajo coste que permiten el desarrollo de múltiples diseños. Por otro lado el software

consiste en un entorno de desarrollo que implementa el lenguaje de programación Processing/Wiring y el cargador de arranque que es ejecutado en la placa. Se programa en el ordenador para que la placa controle los componentes electrónicos.



**Figura 69. Arduino
(ARDUINO, 2015)**

Las placas Arduino se conectan al ordenador utilizando un cable USB, al igual que cualquier otro periférico, como la impresora, el teclado o incluso, un mando de videojuegos. Arduino necesita estar conectado al ordenador a través del cable USB para cargar un programa. El cable USB sirve también para suministrar energía a la placa, pero también se puede alimentarla usando una fuente de energía externa, como una batería o un transformador apropiado.

Tabla 23.

Características de Arduino.

Características	
Microcontrolador.	Atmega 328
Voltaje de Operación.	5 [V]
Voltaje de Entrada (Recomendado).	7-12 [V]
Voltaje de entrada (Límite).	6-20 [V]
Pines para entrada-salida digital.	14 (6 pueden usarse como salida de PWM)

CONTINUÍA →

Pines de entrada analógica.	6
Corriente continua por PIN IO	40 [mA]
Corriente continua en el pin de 3.3 [V]	50 [mA]
Memoria Flash.	32 [KB]
SRAM.	2 [KB]
EEPROM.	1 [KB]
Frecuencia de reloj.	16 [MHz]

Tabla 24.

Ventajas y desventajas de Arduino.

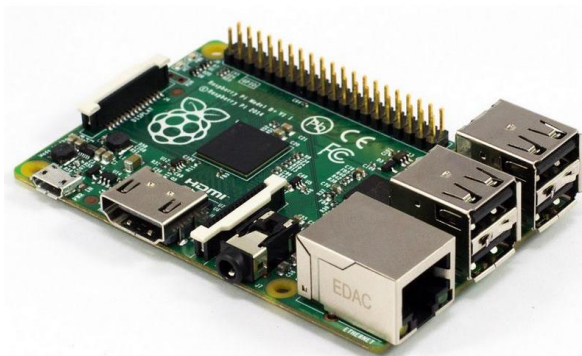
Ventajas	Desventajas
Simplifica el proceso de trabajar con microcontroladores.	Dado que la programación no se realiza en ensamblar, el precio a pagar por el uso de las librerías es un retraso en la ejecución de las instrucciones.
Son accesibles comparadas con otras plataformas de microcontroladores.	
El software de arduino funciona en los sistemas operativos de Windows, Macintosh OSX y Linux.	
El entorno de programación es fácil de usar para principiantes y flexible para los usuarios avanzados.	
Es de distribución de licencia libre y preparada para ser adaptado por programadores experimentados.	
	El hecho de que la plataforma venga ya ensamblada le quita flexibilidad a los proyectos, así por ejemplo se obliga a usar un espacio y forma acorde con el PCB del arduino.

- **Raspberry**

Es un ordenador de placa reducida de bajo costo desarrollado en Reino Unido por la Fundación Raspberry Pi, con el objetivo de estimular la enseñanza de ciencias de la computación en las escuelas, (Fig. 70).

El diseño incluye un System-on-a-chip Broadcom BCM2835, que contiene un procesador central (CPU) ARM1176JZF-S a 700 MHz (el firmware incluye unos modos “Turbo” para que el usuario pueda hacerle overclock de hasta

1 GHz sin perder la garantía), un procesador gráfico (GPU) VideoCore IV, y 512 MB de memoria RAM . El diseño no incluye un disco duro ni unidad de estado sólido, ya que usa una tarjeta SD para el almacenamiento permanente; tampoco incluye fuente de alimentación ni carcasa.



**Figura 70. Raspberry Pi.
(Raspberry Pi, 2015)**

Tabla 25.

Características de Raspberry Pi.

Características	
Alimentación.	5V / 600 [mA]
CPU ARM1176JZF-S	700 [MHz]
Memoria RAM	512 [MB]
Conexiones.	4x USB 2.0 1x salida audio mini Jack 3.5 [mm] 1x Salida audio/video HDMI. 1X Micro USB 1x RJ45 10/100 Ethernet RJ45.
Conectividad.	LAN Red Local Wifi

Tabla 26.

Ventajas y Desventajas de Raspberry Pi .

Ventajas	Desventajas
Ordenador sencillo.	Servidor más lento
No necesita mucha energía.	
Cabe en cualquier lugar.	

- **UDOO**

El microcontrolador UDOO (Fig. 71), es una minicomputadora que combina el poder de Arduino y de la Raspberry Pi, pero con una potencia cuatro veces mayor.

UDOO es un sistema ideado principalmente para crear aplicaciones y pasarlas desde el sistema Linux incorporado (Linaro 11.10) hasta la placa Arduino sin necesidad de cables. Android 4.0.4 Ice Cream Sandwich corre de manera fluida, aunque sus creadores planean versiones más avanzadas en el lanzamiento. Igualmente es posible conectar apps de Android con placas Arduino compatibles con ADK. Por tanto, estamos ante un sistema orientado ante todo a programadores y entusiastas que busquen un sistema que aúne varios ecosistemas.



**Figura 71. UDOO
(UDOO, 2015)**

Tabla 27.

Características de UDOO.

Características	
Router Ethernet.	RJ45 (10/100/1000 MBit)
Procesador Atmel.	SAM3X8E ARM Cortex-M3 CPU (según especificación de Arduino Due)
Memoria RAM DDR3.	1[GB]
Entradas y salidas.	54 Digital I/O + Analógico (Arduino-compatible R3 1.0 pinout)
Alimentación.	5-12 [V]
Sistema Android.	4.04 Ice Cream Sandwich

Tabla 28.

Ventajas y desventajas de UDDO.

Ventajas	Desventajas
Permite comunicar varias plataformas.	Requiere de un nivel alto de programación.
Mayor cantidad de entradas y salidas.	

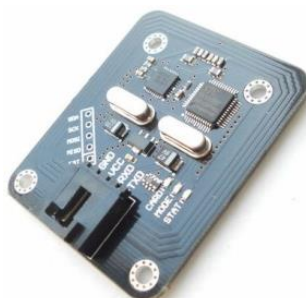
5.2.2.2. Ingreso al Sistema.

- **RFID**

La tecnología RFID, más comúnmente llamado Identificación por Radio Frecuencia, es la forma que tiene de comunicarse los objetos modernos. Las diferentes utilidades de la tecnología RFID dan respuesta a una amplia gama de procesos empresariales.

La tecnología RFID (Fig. 72), que responde a las iniciales de Radio Frecuencia Identificación, no es más que un sistema para comunicarse sin cables entre dos o más objetos, dónde uno emite señales de radio y el otro responde en función de la señal recibida.

A partir de aquí podemos complicar el tema todo lo que queramos y bajar a las profundidades tecnológicas de las ondas de radio, los chips, las resistencias, las impedancias; y un sin fin de conceptos con una terminología poco amigable al usuario final.



**Figura 72. RFID 13.56 [MHz]
(Elechouse, 2013)**

Tabla 29.

Características RFID 13.56 MHz.

Características	
Fuente de alimentación	5 [V]
Interface	UART (5VTTL) SPI (3.3V TTL)
Baud rate	2400 [bps] - 115200 [bps]
Paridad	Ninguna
Bits de datos	8
bit de parada	1
Bit de inicio	1

Tabla 30.

Ventajas y Desventajas RFID 13.56 MHz.

Ventajas	Desventajas
Modulo pequeño	Niveles de voltaje TTL
Comunicación UART	
Fácil Montaje	No disponible en el mercado nacional

- **LECTOR WIEGAND**

El Lector de tarjetas de Proximidad MiFare ofrece la fiabilidad, la gama de lectura consistente y bajo consumo de energía en un lector de tarjetas de proximidad fácil de instalar, está diseñado para interiores, cuenta con leds y bocina integrada, ofrece una notable rentabilidad al tener la característica de ser compatible con tarjetas MiFare.

Los Lectores de tarjetas de Proximidad MiFare (Fig. 73), ofrecen beneficios y características raramente encontradas en los lectores de tarjetas de proximidad de este tipo. El lector de tarjetas de proximidad es compatible con la mayoría de los lectores con controlador WIEGAND al contar con interfaz de salida WIEGAND26.



**Figura 73. Wiegand
(Elechouse, 2013)**

Tabla 31.

Características de Wiegand.

Características	
Rango de lectura	hasta 6 [m]
Frecuencia	13.56 [MHz]
Interfaz de salida	Wiegand 26 [bits]
Distancia Máxima del cable de comunicación	100 [m]
Voltaje de funcionamiento	9 – 16 [VDC]
Temperatura de funcionamiento	40 °C a 70°C

Tabla 32.

Ventajas y desventajas de Wiegand.

Ventajas	Desventajas
Amplio Rango de operación.	Manejo complicado de la señal de salida.
Montaje sencillo.	Alimentación de 16 [V].
Robustez y seguridad en el sistema.	Costo elevado y dificultad en la adquisición.

5.2.3. Módulo III.

5.2.3.1. Potencia.

- **Reguladores de Voltaje Estándar.**

Esta serie de circuito integrado reguladores de voltaje está diseñado para una amplia gama de aplicaciones (Fig. 74). Estas aplicaciones incluyen la regulación de la tarjeta para la eliminación de los problemas de ruido y distribución asociados con la regulación de un solo punto. Cada uno de estos reguladores pueden entregar hasta 1,5 A de corriente de salida. Las características de limitación de corriente y temperatura interna de estos reguladores esencialmente los hacen inmunes a sobrecargas. Además de utilizar como reguladores de voltaje fijo, estos dispositivos se pueden utilizar con componentes externos para obtener tensiones de salida ajustables y corrientes, y también se pueden utilizar como el elemento de paso de energía en reguladores de precisión.



**Figura 74. Regulador de Voltaje 7824
(Texas Instruments, 2012)**

Tabla 33.

Características del Regulador de Voltaje 7824.

Características	
Tensión de Entrada.	27-38 [V _{DC}]
Tensión de Salida.	23-25 [V _{DC}]
Corriente Máxima de Salida.	1.5 [A]
Resistencia de Salida.	0.028 [Ω]
Caída de Tensión a I=1[A].	2 [V _{DC}]
Corriente de Salida en Corto Circuito.	150 [mA]
Corriente de Salida Pico	2.1 [A]
Temperatura Nominal	25°C

Tabla 34.

Ventajas y Desventajas del Regulador de Voltaje 7824.

Ventajas	Desventajas
Bajo Costo.	Poca demanda en aplicaciones Industriales.
Tamaño Reducido. Fácil montaje en placas PCB.	Caída de tensión significativa para distancias mayores a 1 [m].

- **Convertidores Aislados CC/CC**

Se llama convertidor DC-DC (Fig. 75), a un dispositivo que transforma corriente continua de una tensión a otra. Suelen ser reguladores de conmutación, dando a su salida una tensión regulada y, la mayoría de las veces con limitación de corriente. Se tiende a utilizar frecuencias de conmutación cada vez más elevadas porque permiten reducir la capacidad de los condensadores, con el consiguiente beneficio de volumen, peso y precio.

Los convertidor alteran el nivel de voltaje, regenerar la tensión en el extremo de los cables largos o permitir la creación de sistemas de suministro independientes por medio de aislamiento eléctrico, son convertidores magnéticos y por lo tanto disparan rápidamente disyuntores con seis veces la corriente nominal, para la protección del sistema.



Figura 75. Convertidores aislados CC/CC 75W (CINCON, 2013)

Tabla 35.

Características de Convertidores aislados CC/CC 75W.

Características	
Tensión de Entrada.	18-75 [V _{DC}]
Tensión de Salida.	24 [V _{DC}]
Potencia de Salida.	75 [W]
Impedancia de Salida.	0.028 [Ω]
Voltaje de Aislamiento.	1.5 [kV]
Corriente de Salida en Corto Circuito.	150 [mA]
Tipo de Montaje.	Agujeros
Temperatura de Trabajo.	-40 a 100°C

Tabla 36.

Ventajas y desventajas de Convertidores aislados CC/CC 75W.

Ventajas	Desventajas
Potencia de Salida mayor a 25W.	Alto Costo.
Fácil Montaje.	No aplica para espacios reducidos.
Inmune a Ruido Electromagnético.	

5.2.3.2. Aplicación Eléctrica

- **Relés electromecánicos.**

El relé (Fig. 76), es un dispositivo electromagnético, que funciona por medio de un electroimán, con el que accionamos uno o varios contactos que permiten abrir o cerrar otros circuitos eléctricos independientes.



Figura 76. Relé Electromecánico (CINCON, 2013)

Tabla 37.

Características del Relé Electromecánico.

Características	
Régimen de corriente del contacto	10 [A]
Voltaje de conmutación	380 [VAC] -125 [VDC]
Voltaje de la bobina	24 [VDC]
Resistencia a la bobina	1.1 [k Ω]
Corriente a la bobina	21.8 [mA]
Consumo de energía	0.53 [W]
estilo de montaje	Sócalo

Tabla 38.

Ventajas y desventajas del Relé Electromecánico.

Ventajas	Desventajas
Bajo costo	Tiempo de conmutación
Fácil Montaje	
Accesible en el mercado local	
Robusto	Mayor número de contactos a los necesarios
Apto para espacios reducidos	

- **RELES DE ESTADO SOLIDO**

El relé de estado sólido (SSR) es un elemento que permite aislar eléctricamente el circuito de entrada o mando y el circuito de salida, (Fig. 77).

Se llama relé de estado sólido a un circuito híbrido, normalmente compuesto por un optoacoplador que aísla la entrada, un circuito de disparo, que detecta el paso por cero de la corriente de línea y un triac o dispositivo similar que actúa de interruptor de potencia.

Su nombre se debe a la similitud que presenta con un relé electromecánico; este dispositivo es usado generalmente para aplicaciones donde se presenta un uso continuo de los contactos del relé que en comparación con un relé convencional generaría un serio desgaste mecánico,

además de poder conmutar altos amperajes que en el caso del relé electromecánico destruirían en poco tiempo los contactos.



Figura 77. Relé de estado sólido (Elechouse, 2013)

Tabla 39.

Características del Relé de estado Sólido

Características	
Corriente Máxima de carga	50 [A]
Rango de frecuencia	47 - 63 [HZ]
Corriente Máxima de switcheo	15 [A]
2 Rangos de entrada	3-32 [VDC] y 90-280 [VAC]
Norma de Seguridad	IP20

Tabla 40.

Ventajas y desventajas del Relé de estado Sólido.

Ventajas	Desventajas
Fácil implementación.	Activación del relé mediante 12 [VDC].
Aislado contra ruido eléctrico.	Aplicaciones industriales de alta potencia.
Fácil adquisición.	
Menor tiempo de conmutación.	Extremadamente costosos.
Altamente robustos.	

- **Opto Acopladores.**

Uno de los dispositivos usados en la electrónica básica es el optoacoplador. Permiten realizar conmutaciones aislando las etapas de control con las de potencia, (Fig. 78).

Su uso es bastante amplio por la facilidad de implementación y bajo costo, pero hace necesario el usar otras etapas electrónicas para poder conmutar cargas que demandan altos niveles de potencia.



**Figura 78. Opto acoplador
(Sigma-Electrónica, 2015)**

Tabla 41.

Características del Opto acoplador

Características	
Máxima corriente de entrada.	50 [mA]
Salida Máxima de voltaje.	30 [V]
Temperatura de Trabajo.	55 °C a 100°C
Alimentación.	5 [V]

Tabla 42.

Ventajas y desventajas del Opto acoplador.

Ventajas	Desventajas
Fácil adquisición.	Difícil implementación. Conmutación de baja potencia.
Activación de 5 [V].	
Buena protección contra ruidos.	
Menor tiempo de conmutación.	

5.2.4. Módulo IV

5.2.4.1. Interfaz Hombre – Máquina.

- **Pantalla de Panel Táctil (Touch - Panel).**

Un Touch – Panel (Fig. 79), se adapta a las necesidades de automatización, ofreciendo mayor flexibilidad, mayor capacidad de

comunicación y un revolucionario sistema de montaje rápido y fácil, además que son de fácil programación y permiten controlar procesos automatizados independientemente de si están o no conectados a un computador.



**Figura 79. Touch-Panel Magelis HMI STU – 855.
(Schneider Electric, 2011)**

Tabla 43.

Características del Touch – Panel.

Características	
Tamaño de pantalla.	5.7 [in]
Colores de la pantalla.	65536 colores
Tecnología de pantalla.	TFT
Resolución.	320 x 240 pixeles
Fuente de alimentación	24 [VDC]
Consumo de energía.	6.8 [W]
Tempera de trabajo.	0°C- 50°C
Protocolo de comunicación.	MODBUS

Tabla 44.

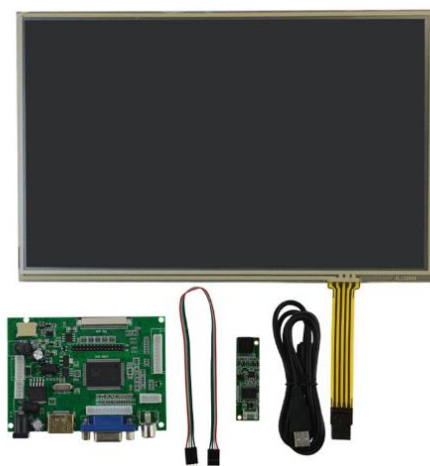
Ventajas y desventajas del Touch – Panel.

Ventajas	Desventajas
Protocolo de comunicación estándar.	Costoso.
Protecciones industriales.	
Robusto.	
Inmune al ruido.	
Tolerancia en la alimentación.	
Fácil programación.	

- **Módulo de Pantalla Táctil LCD.**

Una pantalla LCD (Fig. 80), es una pantalla de alta resolución que utiliza leds microscópicos para reproducir la imagen, utilizando un mínimo consumo.

Las pantallas táctiles, debido a sus características, actúan como dispositivos de entrada / salida: es posible ingresar datos y, a su vez, extraer los resultados. En otras palabras, la pantalla táctil permite que el usuario introduzca información al sistema y también se encarga de mostrar el resultado del procesamiento de dicha información.



**Figura 80. Pantalla táctil LCD
(Sigma-Electrónica, 2015)**

Tabla 45.

Características de la Pantalla táctil LCD.

Características	
Fuente de poder.	1.4 - 3.6 [VDC]
Colores de la pantalla.	131000
Tamaño de pantalla.	10.1 [in]
Entradas.	2 entradas análogas
Resolución.	8-12 [bits]
Comunicación.	Serial

Tabla 46.

Ventajas y desventajas de la Pantalla táctil LCD.

Ventajas	Desventajas
Bajo Costo.	Poco robusto
Comunicación establecida con el microcontrolador.	susceptible al ruido electromagnético
Robusto.	Pantalla resistiva.
Fácil programación.	Limitación al diseño
	No dispone de comunicación MODBUS.

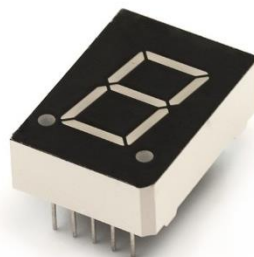
5.2.4.2. Indicadores Numéricos.

- **Displays 7 Segmentos.**

El displays de 7 segmentos (Fig. 81), es un componente que se utiliza para la representación de números en muchos dispositivos electrónicos.

Todavía hay muchos que utilizan el display de 7 segmentos por su simplicidad.

Este elemento se ensambla o arma de manera que se pueda activar cada segmento (diodo LED) por separado logrando de esta manera combinar los elementos y representar todos los números en el display (del 0 al 9).



**Figura 81. Display 7 segmentos.
(Olimex, 2013)**

Tabla 47.

Características del display de 7 segmentos.

Características	
Solidez.	Excelente
Angulo de visibilidad.	150 grados
Consumo por dígito.	150 [mV]
Vida media en horas.	100000
Luminosidad.	Buena
Facilidad de montaje.	Excelente
Vcc general.	5 [VDC]

Tabla 48.

Ventajas y desventajas del display de 7 segmentos.

Ventajas	Desventajas
Bajo Costo.	Se necesita de un circuito integrado adicional para reducir el número de salidas del microcontrolador.
Bajo consumo de energía.	
Mayor visibilidad.	
Fácil manipulación.	

- **LCD**

Una pantalla de cristal líquido o LCD (Fig. 82), es una pantalla delgada y plana formada por un número de píxeles en color o monocromos colocados delante de una fuente de luz o reflectora. A menudo se utiliza en dispositivos electrónicos de pilas, ya que utiliza cantidades muy pequeñas de energía eléctrica.



**Figura 82. LCD
(Olimex, 2013)**

Tabla 49.

Características del LCD.

Características	
Solidez.	Excelente.
Consumo.	300 [mA]
Vida media en horas.	100000
Luminosidad.	Buena.
Facilidad de montaje.	Media.
Vcc general.	5 [VDC]

Tabla 50.

Ventajas y desventajas del LCD.

Ventajas	Desventajas
Facilidad de conexiones.	No se puede visualizar fácilmente los dígitos a distancias mayores a 1.5 [m], son muy pequeños.
Bajo consumo de energía.	
Compacto.	

5.2.4.3. Indicadores Luminosos.

Las columnas luminosas y balizas son elementos fundamentales en los procesos productivos para la señalización visual y acústica del estado de las instalaciones.

- **BALIZA (Fig. 83).**



**Figura 83. Baliza
(Elechouse, 2013)**

Tabla 51.

Características de la Baliza.

Características	
Tensión máxima de empleo.	250 [VAC]
Conexiones.	Terminales a tornillo hasta una sección de 1.5 [mm ²]
Temperatura de funcionamiento.	-20°C – 50°C
Grado de protección.	IP54
Material.	policarbonato

Tabla 52.

Ventajas y desventajas de la baliza.

Ventajas	Desventajas
Bajo costo.	Son sensibles a impactos.
Menor impacto a la estética de la máquina.	
Menor consumo de energía.	
Compacto.	

- **INDICADORES INDUSTRIALES TIPO TORRE (Fig. 84).**



**Figura 84. Indicador Industrial Tipo Torre.
(Schneider Electric, 2011)**

Tabla 53.**Características de los Indicadores Tipo Torre.**

Características	
Tensión máxima de empleo	250 [VAC]
Conexiones	Terminales a tornillo hasta una sección de 1.5 [mm ²]
Temperatura de funcionamiento	-20°C – 50°C
Grado de protección	IP65
Material.	poli-carbonato o aluminio anodizado

Tabla 54.**Ventajas y desventajas de los indicadores luminosos.**

Ventajas	Desventajas
Presenta varios colores.	Alto Costo.
Permiten indicar varios estados de un proceso.	
Fácil conexión.	

5.3. Evaluación y selección de las alternativas de diseño preliminar.

Para realizar la selección de la alternativa de materialización de los componentes, se usa el método ordinal corregido de criterios ponderados.

Como primer paso para la evaluación y selección de la alternativa de diseño preliminar, se debe manejar los criterios de la valoración para cada tipo de solución.

Una vez detallado los criterios de valoración se procede a realizar la ponderación de los mismos.

Es necesario la elaboración de la tabla de ponderaciones en la cual se colocan valores comprendidos entre 0 y 1, si el valor es 1 significa que el

criterio de la fila es más relevante que el criterio de la columna, caso contrario, si es 0, significa que el criterio de la columna es más importante que el de la fila.

A continuación se detalla y evalúan las alternativas de los componentes presentes para cada módulo.

5.3.1. Módulo I.

Para el desarrollo de la selección de alternativas, en el **módulo I** se tomaran los criterios mostrados en la tabla 55.

Posibles Soluciones:

1. Parámetros de Corte.

- **Solución A:** Sensor Inductivo.
- **Solución B:** Sensor Capacitivo.
- **Solución C:** Sensor de Efecto Hall.

Tabla 55.

Criterios de Ponderación

Precisión > Costo > Mantenimiento					
Criterio	Precisión	Costo	Mantenimiento	$\Sigma+1$	Ponderación
Precisión		0,5	1	2,5	0,417
Costo	0,5		0,5	2	0,333
Mantenimiento	0	0,5		1,5	0,25
Suma				6	1

A continuación se procede a generar la evaluación de cada una de las alternativas, en las tablas 56, 57, 58, se detallan las ponderaciones y evaluaciones de acuerdo a los criterios de la selección.

Tabla 56.

Criterio de Precisión en el análisis de las posibles soluciones.

Solución A>Solución B >Solución C					
Precisión	Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A		1	1	3	0,5
Solución B	0		0,5	1,5	0,25
Solución C	0	0,5		1,5	0,25
Suma				6	1

Tabla 57.

Criterio de Costo en el análisis de las posibles soluciones.

Solución C>Solución B >Solución A					
Costo	Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A		0,5	0,5	2	0,333
Solución B	0,5		0	1,5	0,25
Solución C	0,5	1		2,5	0,417
Suma				6	1

Tabla 58.

Criterio de Mantenimiento en el análisis de las posibles soluciones.

Solución A>Solución C >Solución B					
Mantenimiento	Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A		1	1	3	0,50
Solución B	0		0	1	0,167
Solución C	0	1		2	0,333
Suma				6	1

Una vez generado las evaluaciones del módulo se tiene en la Tabla 59 las conclusiones y la ponderación de la solución que es más viable.

Tabla 59.

Conclusiones.

Solución A>Solución C >Solución B					
Conclusión	Precisión (*0,417)	Costo (*0,333)	Mantenimiento (*0,25)	Σ	Ponderación
Solución A	0,209	0,111	0,125	0,445	1
Solución B	0,104	0,083	0,042	0,229	3
Solución C	0,104	0,139	0,083	0,326	2
Suma				1,00	

Conclusión:

De acuerdo a las directrices de diseño planteadas, la solución A (sensor inductivo) es la que mejor se adapta a los requerimientos de parámetros de corte referente a la medición del espesor máximo, destacándose sobre las otras opciones como son el sensor capacitivo o de efecto hall.

2. Sensor de Presencia.

- **Solución A:** Barrera Laser.
- **Solución B:** Sensor Fotoeléctrico.

Tabla 60.

Criterios de Ponderación.

Repetitividad y Precisión > Tiempo de Respuesta > Costo					
Criterio	Repetitividad y Precisión	Costo	Tiempo de Respuesta	$\Sigma+1$	Ponderación
Repetitividad y Precisión		1	1	3	0,5
Costo	0		0,5	1,5	0,25
Tiempo de Respuesta	0	0,5		1,5	0,25
			Suma	6	1

A continuación se procede a generar la evaluación de cada una de las alternativas, en las tablas 61, 62, 63, se detallan las ponderaciones y evaluaciones de acuerdo a los criterios de la selección.

Tabla 61.

Criterio de Repetitividad y Precisión en el análisis de las posibles soluciones.

Solución A > Solución B				
Repetitividad y Precisión	Solución A	Solución B	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A		1	2	0,666
Solución B	0		1	0,333
			Suma	3
				1

Tabla 62.

Criterio de Costo en el análisis de las posibles soluciones.

Solución B>Solución A				
Costo	Solución A	Solución B	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A		0,5	1,5	0,5
Solución B	0,5		1,5	0,5
		Suma	3	1

Tabla 63.

Criterio de Costo en el análisis de las posibles soluciones.

Solución A>Solución B				
Tiempo de Respuesta	Solución A	Solución B	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A		1	2	0,666
Solución B	0		1	0,333
		Suma	3	1

Una vez generado las evaluaciones del módulo se tiene en la tabla 64, las conclusiones y la ponderación de la solución que es más viable ser usada.

Tabla 64.

Conclusiones.

Solución A>Solución B					
Conclusión	Repetitividad y Precisión (*0,5)	Costo (*0,25)	Tiempo de Respuesta (*0,25)	Σ	Ponderación
Solución A	0,333	0,125	0,1665	0,625	1
Solución B	0,1667	0,125	0,083	0,375	2
			Suma	1,000	

Conclusión:

Conforme las directrices de diseño que mejor se adaptan para un sensor de presencia (repetitividad, precisión, costo y tiempo de respuesta), la solución A (Barra Laser) es la que mejor se adapta a los requerimientos de la máquina, destacándose sobre la otra opción como es el sensor fotoeléctrico.

3. Sensor de Desplazamiento.

- **Solución A:** Encoder Rotacional
- **Solución B:** Encoder Lineal
- **Solución C:** Sensor Ultrasónico

Tabla 65.

Criterios de Ponderación.

Costo > Tipo de Protección > Temperatura de Trabajo					
Criterio	Costo	Tipo de Protección	Temperatura de Trabajo	$\Sigma+1$	Ponderación
Costo		1	1	3	0,5
Tipo de Protección	0		0,5	1,5	0,25
Temperatura de Trabajo	0	0,5		1,5	0,25
Suma				6	1

A continuación se procede a generar la evaluación de cada una de las alternativas, en las tablas 66, 67, 68, se detallan las ponderaciones y evaluaciones de acuerdo a los criterios de la selección.

Tabla 66.

Criterio de Costo en el análisis de las posibles soluciones.

Solución C > Solución A > Solución B					
Costo	Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A		1	0,5	2,5	0,417
Solución B	0		0,5	1,5	0,25
Solución C	0,5	0,5		2	0,333
Suma				6	1

Tabla 67.

Criterio de Tipo de Protección en el análisis de las posibles soluciones.

Solución A > Solución B > Solución C					
Tipo de Protección	Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A		1	1	3	0,5
Solución B	0		0,5	1,5	0,25
Solución C	0	0,5		1,5	0,25
Suma				6	1

Tabla 68.

Criterio de Temperatura de trabajo en el análisis de las posibles soluciones.

Solución A>Solución B> Solución C					
Temperatura de trabajo	Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A		1	1	3	0,5
Solución B	0		1	2	0,333
Solución C	0	0		1	0,167
Suma				6	1

Una vez generado las evaluaciones del módulo se tiene en la tabla 69 las conclusiones y la ponderación de la solución que es más viable ser usada.

Tabla 69.

Conclusiones.

Solución A>Solución C> Solución B					
Conclusión	Costo (*0,5)	Tipo de Protección (*0,25)	Temperatura de Trabajo (*0,25)	Σ	Ponderación
Solución A	0,209	0,125	0,125	0,459	1
Solución B	0,125	0,063	0,083	0,271	3
Solución C	0,167	0,063	0,042	0,272	2
Suma				1	

Conclusión:

Respecto a los parámetros de costo, tipo de protección y temperatura de trabajo, la solución A (Encoder Rotacional) es la que mejor se adapta a los requerimientos para medición de desplazamiento, destacándose sobre las otras opciones como son en encoder lineal y Sensor Ultrasónico

5.3.2. Módulo II.

Posibles Soluciones para controladores:

1. Controlador.

- **Solución A:** Tarjeta Arduino MEGA 2560
- **Solución B:** Raspberry Pi
- **Solución C:** UDOO

Tabla 70.

Criterios de Ponderación.

Implementación > Costo > Mantenimiento					
Criterio	Facilidad de Uso	Costo	Mantenimiento	$\Sigma+1$	Ponderación
Facilidad de Uso		1	1	3	0,4
Costo	0,5		1	2,5	0,33
Mantenimiento	0,5	0,5		2	0,26
			Suma	7,5	1

A continuación se procede a generar la evaluación de cada una de las alternativas, en las tablas 71, 72, 73, se detallan las ponderaciones y evaluaciones de acuerdo a los criterios de la selección.

Tabla 71.

Criterio de Facilidad de Uso en el análisis de las posibles soluciones.

Facilidad de Uso	Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A		1	1	3	0,5
Solución B	0		0,5	1,5	0,25
Solución C	0	0,5		1,5	0,25
			Suma	6	1

Tabla 72.

Criterio de Costo en el análisis de las posibles soluciones.

Costo	Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A		1	1	3	0,5
Solución B	0		0,5	1,5	0,25
Solución C	0	0,5		1,5	0,25
			Suma	6	1

Tabla 73.

Criterio de Mantenimiento en el análisis de las posibles soluciones.

Mantenimiento	Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A		1	0,5	2,5	0,4167
Solución B	0		0,5	1,5	0,25
Solución C	0,5	0,5		2	0,333
			Suma	6	1

Una vez generado las evaluaciones del módulo se tiene en la tabla 74, las conclusiones y la ponderación de la solución que es más viable ser usada.

Tabla 74.

Conclusiones.

Solución A>Solución D> Solución B> Solución C					
Conclusión	Facilidad de Uso (*0,4)	Costo (*0,33)	Mantenimiento (*0,27)	Σ	Ponderación
Solución A	0,2	0,165	0,113	0,478	1
Solución B	0,1	0,083	0,063	0,246	3
Solución C	0,1	0,083	0,09	0,273	2
			Suma	1	

Conclusión:

Respecto a los parámetros de implementación, costo y mantenimiento, la solución A (Tarjeta Arduino Mega 2560) es la que mejor se adapta a los requerimientos para control de procesos de la máquina, destacándose sobre las otras opciones como Raspberry Pi y UDOO.

2. Controlador (Potencia).

- **Solución A:** PLC
- **Solución B:** Contactores

Tabla 75.

Criterios de Ponderación.

Implementación > Costo > Diseño Compacto					
Criterio	Implementación	Costo	Diseño Compacto	$\Sigma+1$	Ponderación
Implementación		0,5	0,5	2	0,286
Costo	0,5		1	2,5	0,357
Diseño Compacto	0,5	1		2,5	0,357
Suma				7	1

A continuación se procede a generar la evaluación de cada una de las alternativas, en las tablas 76, 77, 78, se detallan las ponderaciones y evaluaciones de acuerdo a los criterios de la selección.

Tabla 76.

Criterio de Implementación en el análisis de las posibles soluciones.

Solución A>Solución B				
Implementación	Solución A	Solución B	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A		1	2	0,667
Solución B	0		1	0,333
Suma			3	1

Tabla 77.

Criterio de Costo en el análisis de las posibles soluciones.

Solución B>Solución A				
Costo	Solución A	Solución B	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A		0,5	1,5	0,50
Solución B	0,5		1,5	0,50
Suma			3	1

Tabla 78.

Criterio de Diseño Compacto en el análisis de las posibles soluciones.

Solución A>Solución B				
Diseño Compacto	Solución A	Solución B	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A		1	2	0,667
Solución B	0		1	0,333
Suma			3	1

Una vez generado las evaluaciones del módulo se tiene en la tabla 79 las conclusiones y la ponderación de la solución que es más viable ser usada.

Tabla 79.

Conclusiones.

Solución A>Solución B					
Conclusión	Implementación (*0,286)	Costo (*0,357)	Diseño Compacto (*0,357)	Σ	Ponderación
Solución A	0,191	0,179	0,238	0,608	1
Solución B	0,095	0,179	0,119	0,393	2
Suma				1,000	

Conclusión:

Conforme las directrices de diseño que mejor se adaptan para un controlador (fase de potencia) (implementación, costo y diseño compacto), la solución A (PLC) es la que mejor se adapta a los requerimientos de la máquina, destacándose sobre la otra opción como es la lógica de contactores.

3. INGRESO AL SISTEMA

- **Solución A:** RFID
- **Solución B:** Lector Wiegand.

Tabla 80.

Criterios de Ponderación.

Protocolo de comunicación > Temperatura de Funcionamiento > Frecuencia de Trabajo					
Criterio	Protocolo de comunicación	Temperatura de Funcionamiento	Interfaz de salida	$\Sigma+1$	Ponderar
Protocolo de comunicación		1	1	3	0,5
Temperatura de Funcionamiento	0		0,5	1,5	0,25
Frecuencia de trabajo	0	0,5		1,5	0,25
Suma				6	1

A continuación se procede a generar la evaluación de cada una de las alternativas, en las tablas 81, 82, 83, se detallan las ponderaciones y evaluaciones de acuerdo a los criterios de la selección

Tabla 81.

Criterio de protocolo de comunicación en el análisis de las posibles soluciones.

Solución A > Solución B				
Protocolo de comunicación	Solución A	Solución B	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A		1	2	0,666
Solución B	0		1	0,333
Suma			3	1

Tabla 82.

Criterio de Temperatura en el análisis de las posibles soluciones.

Solución B > Solución A				
Temperatura de Funcionamiento	Solución A	Solución B	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A		0	1	0,333
Solución B	1		2	0,666
Suma			3	1

Tabla 83.

Criterio de Frecuencia de trabajo en el análisis de las posibles soluciones.

Solución A>Solución B				
Frecuencia de Trabajo	Solución A	Solución B	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A		1	2	0,666
Solución B	0		1	0,333
		Suma	3	1

Una vez generado las evaluaciones del módulo se tiene en la tabla 84 las conclusiones y la ponderación de la solución que es más viable ser usada.

Tabla 84.

Conclusión.

Solución A> Solución B					
Conclusión	Protocolo de Comunicación (*0,5)	Temperatura de Funcionamiento (*0,25)	Frecuencia de Trabajo (*0,25)	Σ	Ponderación
Solución A	0,333	0,083	0,167	0,583	1
Solución B	0,167	0,167	0,083	0,417	2
			Suma	1	

Conclusión:

Conforme las directrices de diseño que mejor se adapta para ingreso al sistema (protocolo de comunicación, temperatura de funcionamiento, frecuencia de trabajo), la solución A (RFID) es la seleccionada ya que se destaca sobre el Lector Wiegand.

5.3.3. Módulo III

1. Fuente de Alimentación.

- **Solución A:** Reguladores de Voltaje Estándar
- **Solución B:** Convertidores Aislados CC/CC

Tabla 85.

Criterios de Ponderación.

Tensión de salida > Corriente máxima de salida > Temperatura de Trabajo					
Criterio	Tensión de salida	Corriente Máxima de salida	Temperatura de Trabajo	$\Sigma+1$	Ponderación
Tensión de salida		0,5	1	2,5	0,417
Corriente Máxima de salida	0,5		1	2,5	0,417
Temperatura de Trabajo	0	0		1	0,167
Suma				6	1

Tabla 86.

Criterio de Tensión de salida en el análisis de las posibles soluciones.

Solución A > Solución B				
Tensión de salida	Solución A	Solución B	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A		1	2	0,666
Solución B	0		1	0,333
Suma			3	1

Tabla 87.

Criterio de Corriente Máxima de salida en el análisis de las posibles soluciones.

Solución B > Solución A				
Corriente Máxima de salida	Solución A	Solución B	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A		0	1	0,333
Solución B	1		2	0,666
Suma			3	1

Tabla 88.

Criterio de Temperatura de Trabajo en el análisis de las posibles soluciones.

Solución A>Solución B				
Temperatura de Trabajo	Solución A	Solución B	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A		1	2	0,666
Solución B	0		1	0,333
		Suma	3	1

Tabla 89.

Conclusión.

Solución A> Solución B					
Conclusión	Tensión (*0,417)	Corriente (*0,417)	Temperatura (*0,167)	Σ	Ponderación
Solución A	0,278	0,139	0,111	0,528	1
Solución B	0,139	0,278	0,056	0,473	2
			Suma	1	

Conclusión:

De acuerdo a las directrices de diseño planteadas, la solución A (Reguladores de voltaje estándar) es la que mejor se adapta a los requerimientos para una fuente de alimentación, destacándose sobre la otra opción (convertidores aislados CC/CC)

2. Amplificación Eléctrica.

- **Solución A:** Relés Electromecánicos.
- **Solución B:** Relés de estado sólido.
- **Solución C:** Opto Acopladores.

Tabla 90.

Criterios de Ponderación.

Fácil Implementación > Corriente máxima de salida > Robusto					
Criterio	Fácil Implementación	Corriente Máxima de salida	Robusto	$\Sigma+1$	Ponderar
Fácil Implementación		1	0,5	2,5	0,417
Corriente Máxima de salida	0		0,5	1,5	0,25
Robusto	0,5	0,5		2	0,333
			Suma	6	1

Tabla 91.

Criterio de Fácil Implementación en el análisis de las posibles soluciones.

Solución A = Solución B > Solución C					
Fácil Implementación	Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma+1$	Ponderar
Solución A		1	1	3	0,5
Solución B	0		0,5	1,5	0,25
Solución C	0	0,5		1,5	0,25
			Suma	6	1

Tabla 92.

Criterio de Corriente en el análisis de las posibles soluciones.

Solución A > Solución B > Solución C					
Corriente Máxima de salida	Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma+1$	Ponderar
Solución A		1	0,5	2,5	0,417
Solución B	0		0,5	1,5	0,250
Solución C	0,5	0,5		2	0,333
			Suma	6	1

Tabla 93.

Criterio de Robustez en el análisis de las posibles soluciones.

Solución A>Solución B =Solución C					
Robusto	Solución A	Solución B	Solución C	$\sum+1$	Ponderación
Solución A		0,5	1	2,5	0,417
Solución B	0,5		0,5	2	0,333
Solución C	0	0,5		1,5	0,250
Suma				6	1

Tabla 94.

Conclusión.

Conclusión	Fácil Implementación (*0,417)	Corriente Máxima de salida (*0,25)	Robusto (*0,33)	Σ	Ponderar
Solución A	0,209	0,104	0,139	0,452	1
Solución B	0,104	0,063	0,111	0,278	2
Solución C	0,104	0,083	0,083	0,27	3
Suma				1	

Conclusión:

Respecto a los parámetros de implementación, corriente de salida y diseño robusto, la solución A (Relés Electromecánicos) es la que mejor se adapta a los requerimientos para la etapa de amplificación eléctrica de la máquina de la máquina, destacándose sobre las otras opciones como Relés de estado sólido y opto-acopladores.

5.3.4. Módulo IV

1. Interfaz Hombre – Máquina.

- **Solución A:** Pantalla de Panel Táctil
- **Solución B:** Módulo de pantalla táctil LCD

Tabla 95.

Criterios de Ponderación.

Resolución> Comunicación> Colores de la Pantalla					
Criterio	Colores pantalla	Resolución	Comunicación	$\Sigma+1$	Ponderación
Colores de la pantalla		0	0,5	1,5	0,25
Resolución	1		0,5	2,5	0,417
Comunicación	0,5	0,5		2	0,333
Suma				6	1

Tabla 96.

Criterio de Colores en el análisis de las posibles soluciones.

Solución A>Solución B				
Colores de la pantalla	Solución A	Solución B	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A		1	2	0,666
Solución B	0		1	0,333
Suma			3	1

Tabla 97.

Criterio de Resolución en el análisis de las posibles soluciones.

Solución A=Solución B				
Resolución	Solución A	Solución B	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A		0	1	0,333
Solución B	1		2	0,666
Suma			3	1

Tabla 98.

Criterio de Comunicación en el análisis de las posibles soluciones.

Solución A>Solución B				
Comunicación	Solución A	Solución B	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A		1	2	0,666
Solución B	0		1	0,333
Suma			3	1

Tabla 99.

Conclusión.

Solución A> Solución B					
Conclusión	Colores pantalla (*0,25)	Resolución (*0,417)	Comunicación (*0,33)	Σ	Ponderación
Solución A	0,167	0,139	0,222	0,528	1
Solución B	0,083	0,278	0,111	0,472	2
Suma				1	

Conclusión:

Conforme las directrices de diseño que mejor se adapta para la interfaz hombre – máquina (resolución, comunicación, colores de la pantalla), la solución A (pantalla de panel táctil) es la seleccionada ya que se destaca sobre el Módulo de pantalla táctil PCD.

2. Indicadores Numéricos

- **Solución A:** Display 7 segmentos.
- **Solución B:** LCD.

Tabla 100.

Criterios de Ponderación.

Fácil Montaje>Solidez> Luminosidad					
Criterio	Solidez	Luminosidad	Fácil Montaje	$\Sigma+1$	Ponderación
Solidez		1	0,5	2,5	0,417
Luminosidad	0		0	1	0,167
Fácil Montaje	0,5	1		2,5	0,417
Suma				6	1

Tabla 101.

Criterio de Solidez en el análisis de las posibles soluciones.

Solución B>Solución A				
Solidez	Solución A	Solución B	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A		0	1	0,333
Solución B	1		2	0,666
Suma			3	1

Tabla 102.

Criterio de Luminosidad en el análisis de las posibles soluciones.

Solución A>Solución B				
Luminosidad	Solución A	Solución B	$\sum+1$	Ponderación
Solución A		1	2	0,666
Solución B	0		1	0,333
		Suma	3	1

Tabla 103.

Criterio de Fácil Montaje en el análisis de las posibles soluciones.

Solución A>Solución B				
Fácil Montaje	Solución A	Solución B	$\sum+1$	Ponderación
Solución A		1	2	0,666
Solución B	0		1	0,333
		Suma	3	1

Tabla 104.

Conclusión.

Solución A> Solución B					
Conclusión	Solidez (*0,417)	Luminosidad (*0,167)	Fácil Montaje (*0,417)	\sum	Ponderación
Solución A	0,139	0,111	0,278	0,528	1
Solución B	0,278	0,056	0,139	0,473	2
			Suma	1	

Conclusión:

De acuerdo a las directrices de diseño planteadas, la solución A (Display de 7 segmentos) es la que mejor se adapta a los requerimientos para ser utilizados como indicadores numéricos, destacándose sobre la otra opción (LCD).

3. INDICADORES LUMINOSOS

Solución A: Baliza.

Solución B: Indicadores Industriales Tipo Torre.

Tabla 105.

Criterios de Ponderación.

Protección>Material> Temperatura de Funcionamiento					
Criterio	Material	Temperatura de Funcionamiento	Protección	$\Sigma+1$	Ponderación
Material		1	0,5	2,5	0,417
Temperatura de Funcionamiento	0		0,5	1,5	0,25
Protección	0,5	0,5		2	0,333
Suma				6	1

Tabla 106.

Criterio de Material en el análisis de las posibles soluciones.

Solución A>Solución B				
Material	Solución A	Solución B	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A		1	2	0,666
Solución B	0		1	0,333
Suma			3	1

Tabla 107.

Criterio de Temperatura en el análisis de las posibles soluciones.

Solución B>Solución A				
Temperatura	Solución A	Solución B	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A		1	2	0,666
Solución B	0		1	0,333
Suma			3	1

Tabla 108.

Criterio de Protección en el análisis de las posibles soluciones.

Solución A>Solución B				
Protección	Solución A	Solución B	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A		0,5	1,5	0,50
Solución B	0,5		1,5	0,50
Suma			3	1

Tabla 109.

Conclusión.

Solución A > Solución B					
Conclusión	Material (*0,417)	Temperatura (*0,25)	Protección (*0,333)	Σ	Ponderación
Solución A	0,278	0,167	0,167	0,612	1
Solución B	0,139	0,083	0,167	0,389	2
			Suma	1	

Conclusión:

Se determinó que el concepto de la solución A cumple de mejor manera con los requerimientos de la cizalladora de acuerdo a las directrices de diseño establecidas para indicadores luminosos por tanto la solución A (Baliza) ha sido seleccionada destacando sobre los indicadores industriales tipo torre.

5.4. Diseño de materialización definitivo.

En el siguiente diagrama (Fig. 85), se indica el diseño de materialización definitivo, el cual se basó en la selección de los componentes por el método de los criterios ponderados.

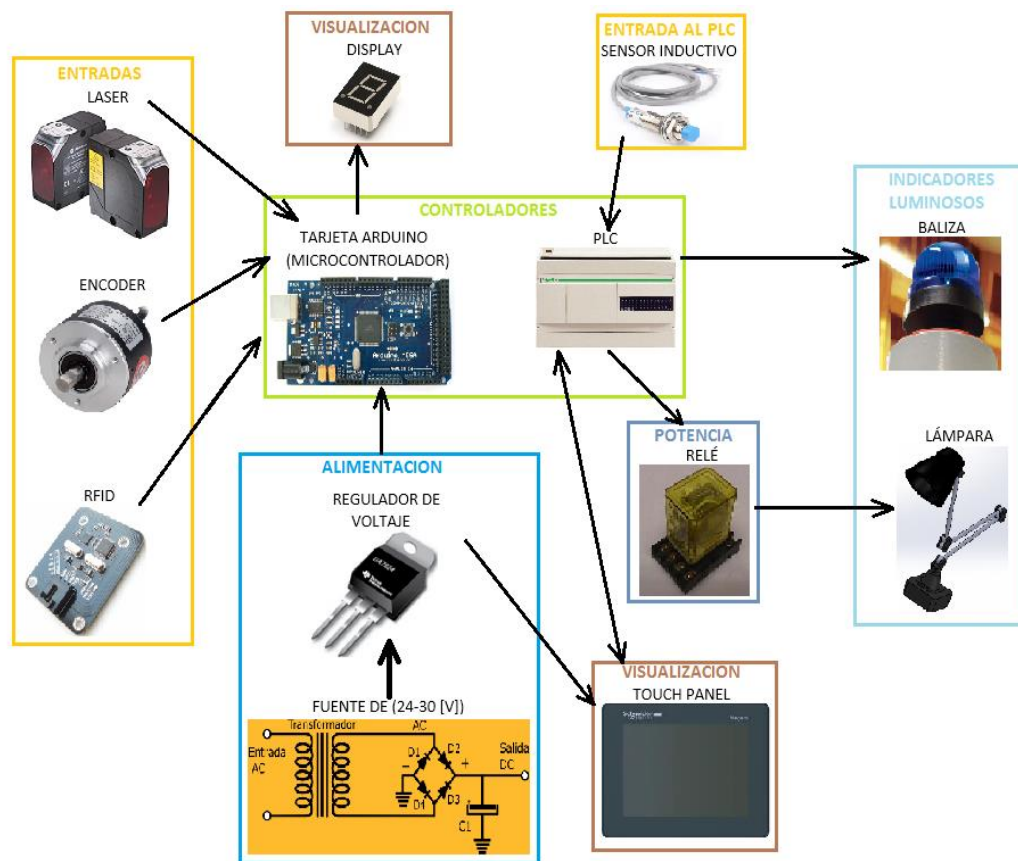


Figura 85. Diagrama Modular de Funcionamiento.

5.5. Diseño de Detalle.

En esta sección se establecen los parámetros de diseño en un nivel de detalle, donde se enuncian los materiales a utilizar, los sensores y sus acoples, y todos los componentes a ensamblar, así también el diseño de la interfaz y los sistemas de seguridad y acceso. Se simplifica los modelos de diseño y se expone los planos de detalle.

5.5.1. Módulo I

1. Entradas: Sensor de Presencia.

- Diagrama Electrónico (Fig. 86).

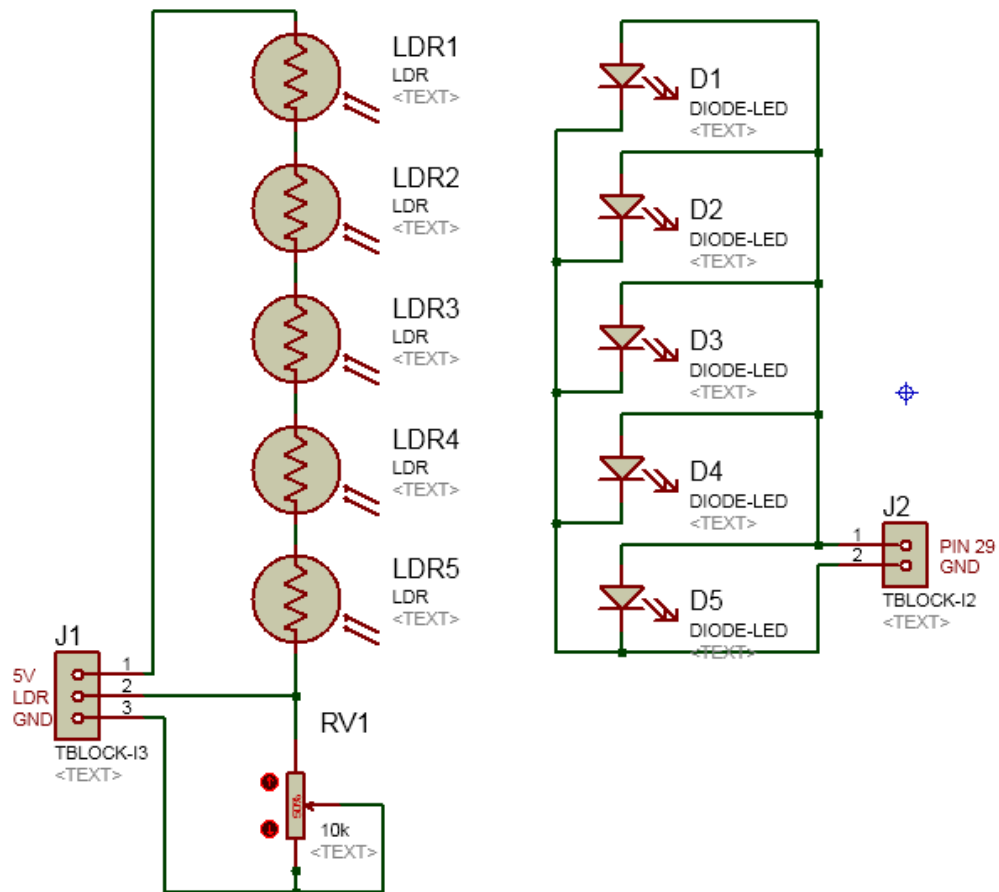


Figura 86. Circuito Barrera Laser.

- Descripción de Funcionamiento.

La alimentación suministra energía todo el tiempo a los diodos laser, los cuales emiten rayos de luz a las fotorresistencias, presentándose 2 casos:

- En el caso de que no se corte el rayo de luz, el LDR (fotorresistencias) presenta una resistencia de aproximadamente 100 $[\Omega]$ equivalente a la resistencia en presencia de luz, por tanto en el pin LDR del diagrama indicado anteriormente se presentará en mayor voltaje medido en el potenciómetro es decir 5 [V], dicha

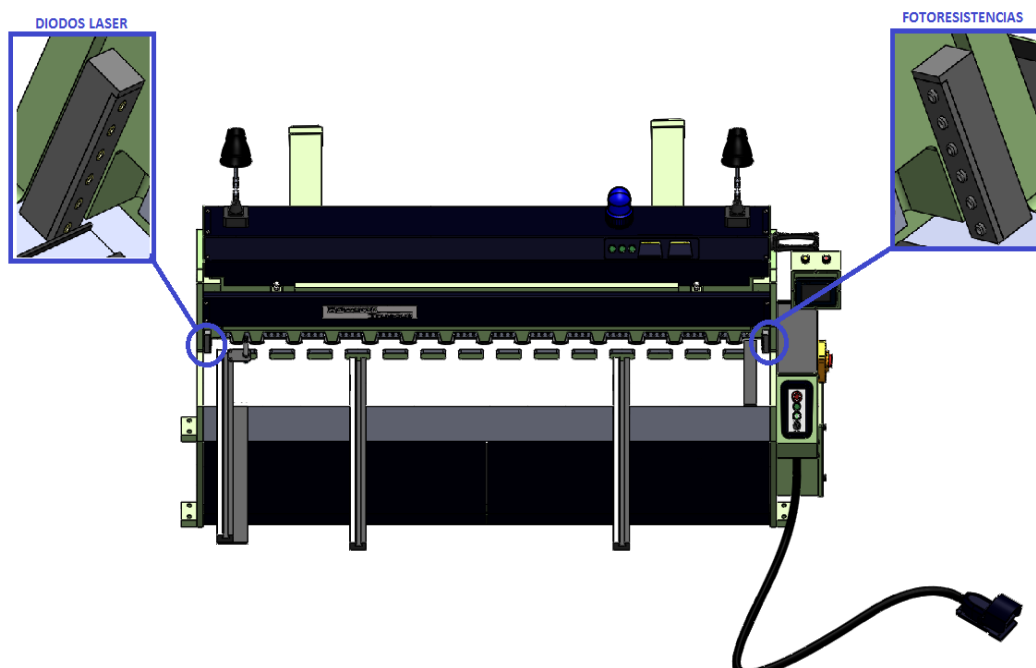


Figura 88. Ubicación de la Barrera Laser en la cizalla

2. Parámetros de Corte

- **Sensor Inductivo (Fig. 89).**



Figura 89. Sensor Inductivo

- **Descripción de funcionamiento:**

Puesto que el fin de la máquina es el de cortar metales, este elemento es un sensor específicamente diseñado para detectar el espesor de superficies metálicas mediante un campo electromagnético que se genera en el mismo, de manera que al ser expuesto o al acercarse a un cuerpo metálico la señal

de control variará en función del espesor (de acuerdo al campo magnético), de tal manera que se presentarán 2 casos:

- El tol (lámina metálica) a cortar no excede los 2.5 [mm] de espesor (es decir la superficie está más alejada del extremo del sensor) la señal de control resultante será 0 [V], dicha señal será comunicada al PLC, el cual la interpretará como condición normal de trabajo (luz verde para el corte).
- El tol (lámina metálica) a cortar excede los 2.5 [mm] de espesor (es decir la superficie está más cercana del extremo del sensor) la señal de control resultante será 24 [V], dicha señal será comunicada al PLC, el cual la interpretará como condición anómala de trabajo y no permitirá el corte (paro de emergencia).

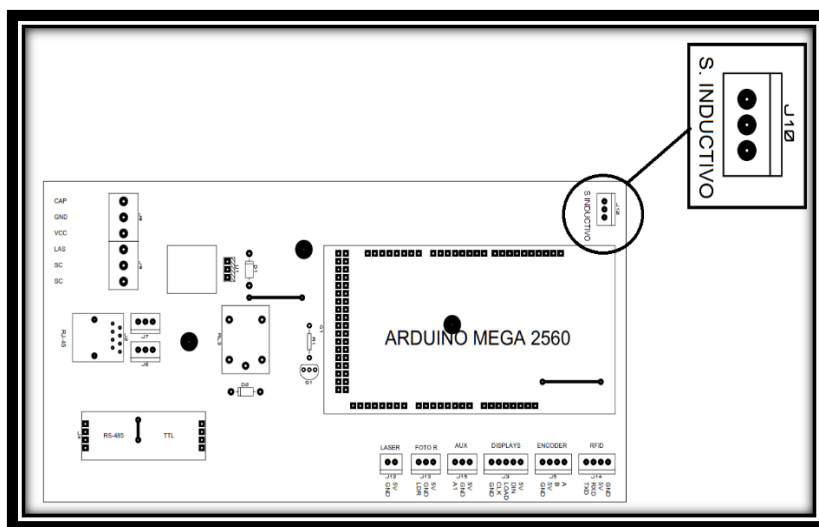


Figura 90. Ubicación de Conectores en la Tarjeta de Control

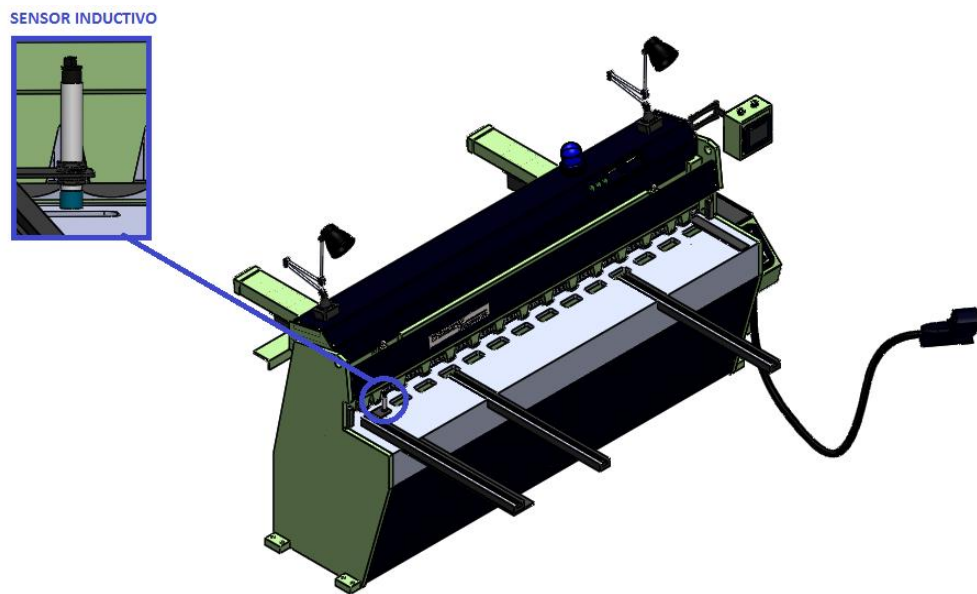


Figura 91. Ubicación del Sensor Inductivo en la cizalla.

3. Sensor de Desplazamiento

ENCODER ROTACIONAL

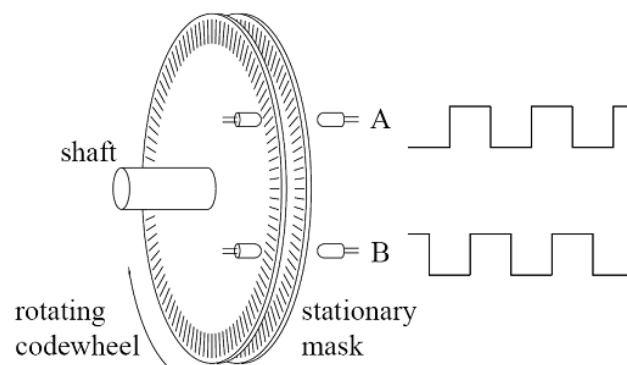


Figura 92. Diagrama Funcional.
(Neuroscience and Robotic LAB, 2013)

- **Descripción de Funcionamiento:**

El Encoder es un dispositivo electromecánico, que convierte la posición angular del eje en el que se encuentra en una señal digital eléctrica.

El encoder rotacional instalado en la máquina cizalladora actúa como un medidor de distancias de corte, su resolución es de 600 pulsos por revolución, la señal de control (pulsos) es comunicada al microcontrolador, el mismo que interpreta estos pulsos y los traduce a distancia por medio de una función en su algoritmo, para determinar la distancia a cortar, dicha distancia es mostrada en los displays. La distancia máxima de corte es de 650 [mm].

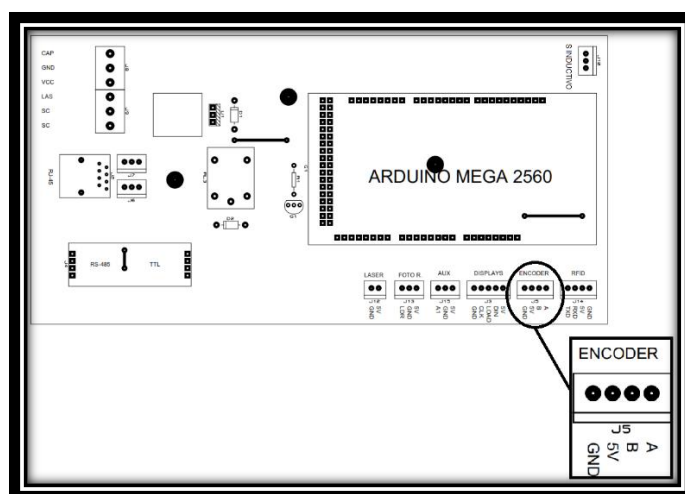


Figura 93. Ubicación de Conectores en la Tarjeta de Control.

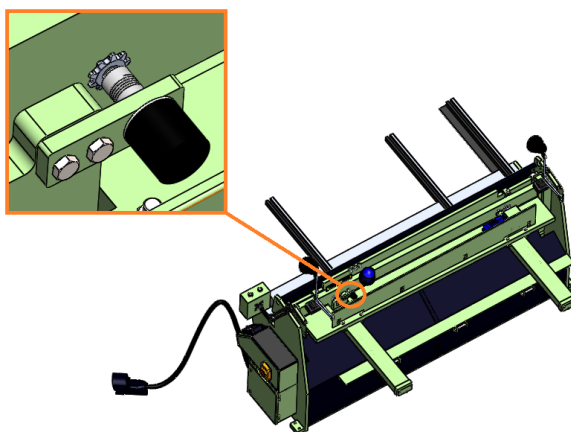


Figura 94. Ubicación del Encoder en la cizalla.

5.5.2. Módulo II

1. Control: Microcontrolador (Fig. 95).



Figura 95. Tarjeta Arduino Mega 2560.

- **Descripción de Funcionamiento:**

El Arduino Mega 2560 es una placa electrónica basada en el microcontrolador Atmega 2560. Cuenta con 54 pines digitales de entrada/salida (de los cuales 15 se pueden utilizar como salidas PWM), 16 entradas analógicas, 4 UARTs (hardware de puertos serial), un oscilador de cristal de 16 [MHz], una conexión USB, un conector de alimentación, un header ICSP, y un botón de reinicio. Contiene todo lo necesario para apoyar el microcontrolador; simplemente conectarlo a un ordenador con un cable USB.

Tabla 110. Especificaciones técnicas del Arduino Mega. (ARDUINO, 2015)

Microcontroller	ATmega2560
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limit)	6-20V
Digital I/O Pins	54 (of which 15 provide PWM output)
Analog Input Pins	16
DC Current per I/O Pin	20 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	256 KB of which 8 KB used by bootloader
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Clock Speed	16 MHz
Length	101.52 mm
Width	53.3 mm
Weight	37 g

La tarjeta Arduino Mega 2560 es alimentada por la señal de salida proveniente del regulador, en sus entradas tiene conectados: el sensor láser, encoder rotacional, RFID y el diodo láser, de las cuales toma sus señales para mediante el algoritmo de control que contiene grabado en su memoria determinar las condiciones del proceso, además en su salida se encuentra enlazado mediante comunicación serial SPI al integrado MAX 7219 (Driver para displays LED de 7 segmentos) el cual controla 8 displays en los cuales se indica numéricamente la distancia de corte.

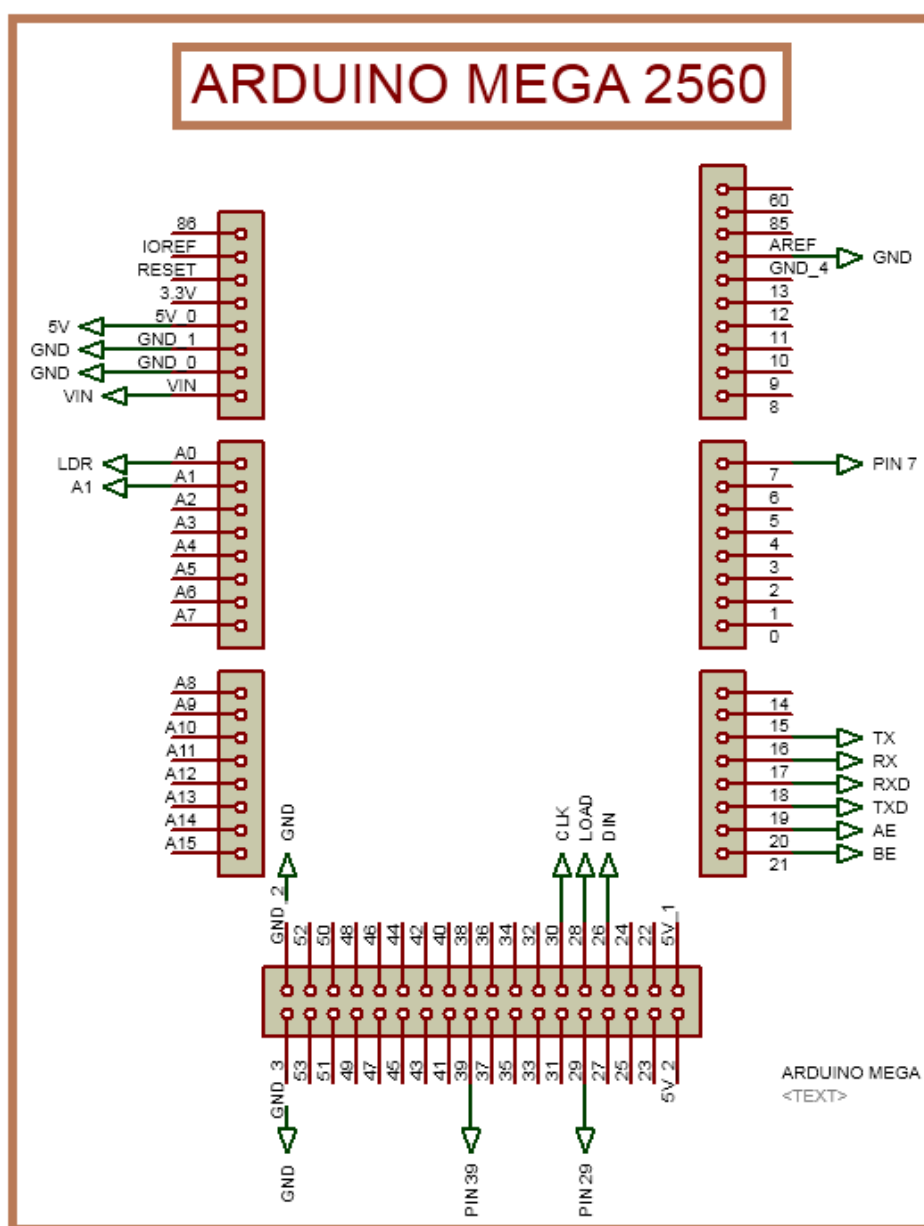


Figura 96. Distribución de Pines de Control Arduino Mega 2560.

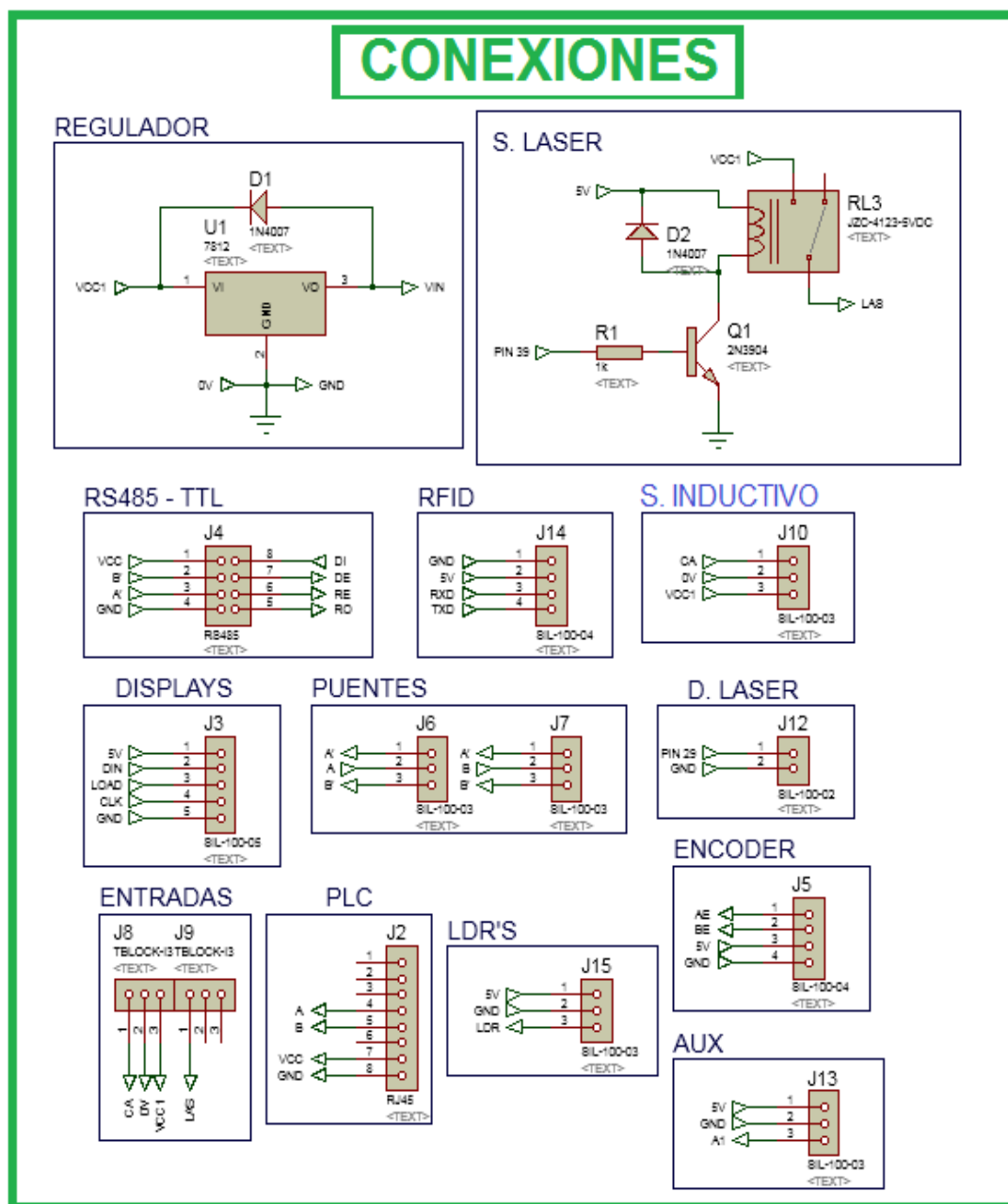
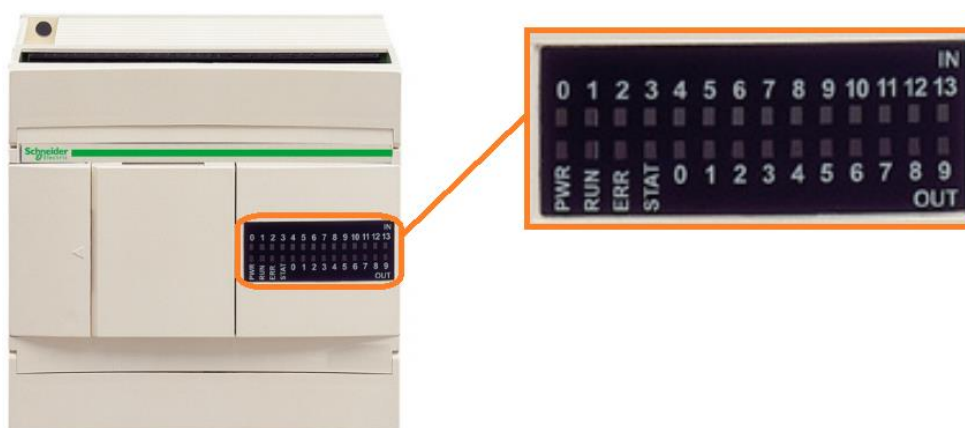


Figura 97. Conexiones al Arduino Mega 2560.

2. Control: Controlador Industrial. (Fig. 98).



**Figura 98. PLC TWIDO TWDLCAA24DRF
(Schneider Electric, 2011)**
(Nota: Obsérvese los terminales de conexión Entradas/Salidas)

Tabla 111.

Especificaciones Técnicas PLC TWIDO TWDLCAA24DRF

Main	
Range of product	Twido
Product or component type	Compact base controller
Discrete I/O number	24
Discrete input number	14
Discrete input voltage	24 V
Discrete input voltage type	DC
Discrete output number	10 relay
Number of I/O expansion module	4
[Us] rated supply voltage	100...240 V AC
Use of slot	Memory cartridge or realtime clock cartridge
Data backed up	Internal RAM lithium 30 days 10 hrs 10 yr
Integrated connection type	Non isolated serial link mini DIN Modbus/character mode master/slave RTU/ASCII RS485 half duplex 38,4 kbit/s Power supply Serial link interface adaptor RS232C/RS485
Complementary function	PID Event processing

Fuente: (Schneider Electric, 2011)

- **Descripción de funcionamiento:**

Este controlador lógico programable (PLC) es utilizado para gobernar las entradas y salidas del sistema y la interfaz de la máquina, controla las variables de salida dependiendo de las variables de entrada comandándolas mediante el algoritmo de control que se encuentra grabado en su memoria y a su vez tiene comunicación con la tarjeta de control Arduino MEGA 2560 para el correcto desempeño en el funcionamiento de la máquina, cuenta también con protecciones en las etapas de potencia del sistema para precautelar la seguridad de la máquina y de los operarios.

Nota: En los siguientes puntos se detallará las entradas y salidas conectadas al PLC y que representa cada una de ellas.

Cuadro 3.

Cuadro explicativo de conexiones de las entradas.

	ENTRADAS		
	SIMBOLOGÍA PARA PROGRAMACIÓN	TERMINALES/ ETIQUETAS CABLES	CONTACTO PLC
PULSADORES	START	B0	I0.0
	FAST CW	B1	I0.1
	FAST CCW	B2	I0.2
	SLOW CCW	B3	I0.3
	FC MAX	B4	I0.4
	FC MIN	B5	I0.5
	LIMIT SW	B6	I0.6
	FOOT SW	B7	I0.7
	STOP	A0	I0.8
	SELECT	A1	I0.9
RELÉS TÉRMICOS	C. Térmico Motor 1	96	I0.13
	C. Térmico Motor 2	M2C12	I0.10
SENSORES	Sensor Inductivo	CA	I0.11
	Barrera Laser	LAS	I0.12

Cuadro 4. Cuadro explicativo de conexiones de las salidas.

	SALIDAS		
	SIMBOLOGÍA PARA PROGRAMACIÓN	TERMINALES/ ETIQUETAS CABLES	CONTACTO PLC
CONTACTORES	MOTOR 1	C1A	Q0.0
	MOTOR 2 FAST CW	C2A	Q0.1
	MOTOR 2 FAST CWW	C3A	Q0.2
	MOTOR 2 SLOW CCW	C4A	Q0.3
LUCES PILOTO	LUZ VERDE	LV	Q0.6
	LUZ AMARILLA	LA	Q0.4
	LUZ ROJA	LE	Q0.5
LUCES INCANDESCENTES	BALIZA	BAL	Q0.7
	LAMPARA	LAM	Q0.8
FRENO ELECTRO MAGNETICO	EMB2	EMB2	Q0.9

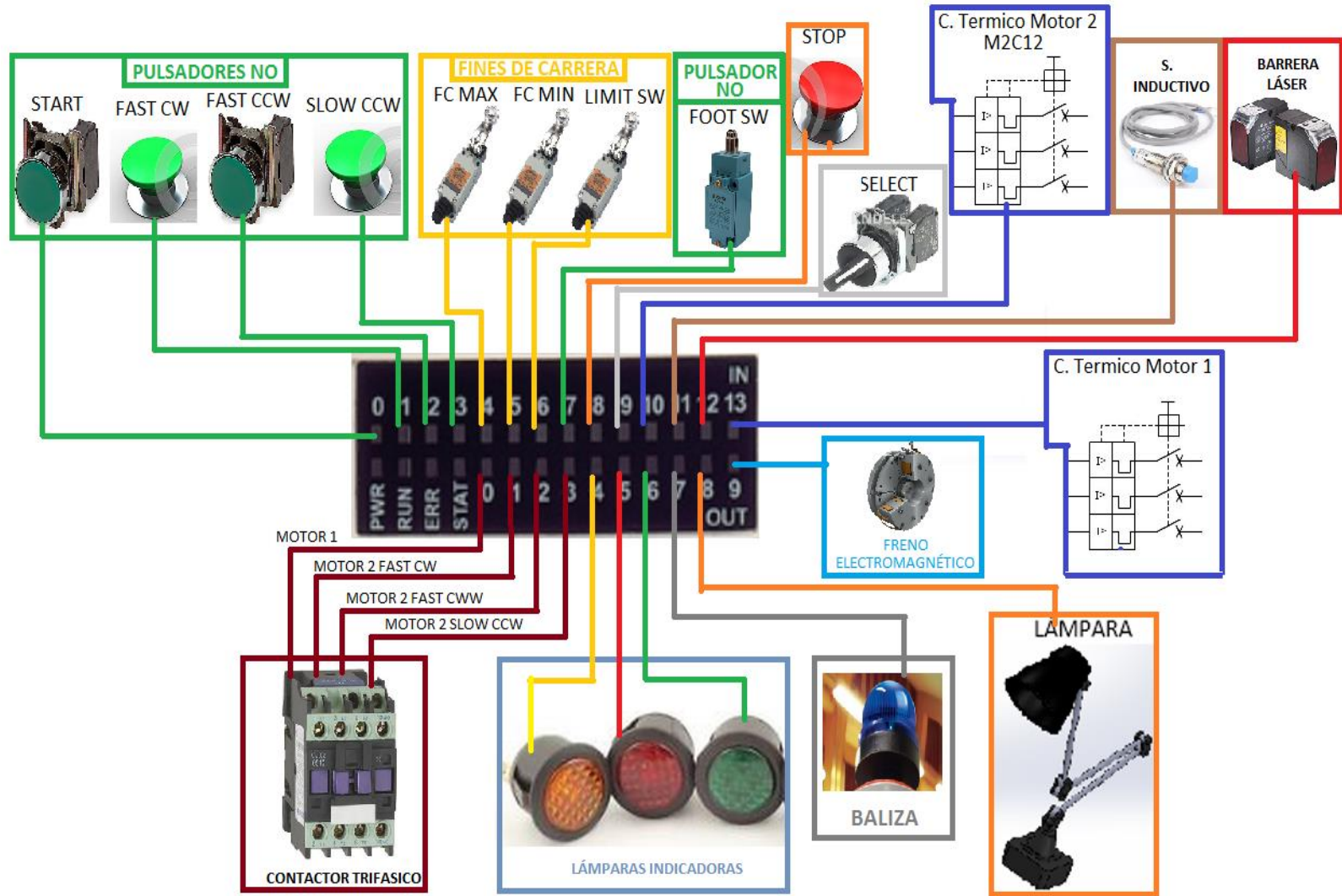
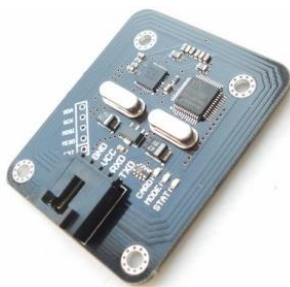


Figura 99. Diagrama de Conexiones con otros Elementos de la Máquina.

3. Ingreso al Sistema: RFID (Fig. 100).



**Figura 100. RFID 13.56 MHz
(Elechouse, 2013)**

- **Descripción de funcionamiento:**

El RFID es un identificador de radio frecuencia, que actúa como detector de tarjetas para determinar si el propietario de la tarjeta es estudiante o ingeniero (para restringir al usuario a funciones del sistema), la señal es comunicada al microcontrolador (Tarjeta Arduino) por medio de comunicación RS-232 el mismo que descifra y muestra la identificación del usuario por medio de los display.

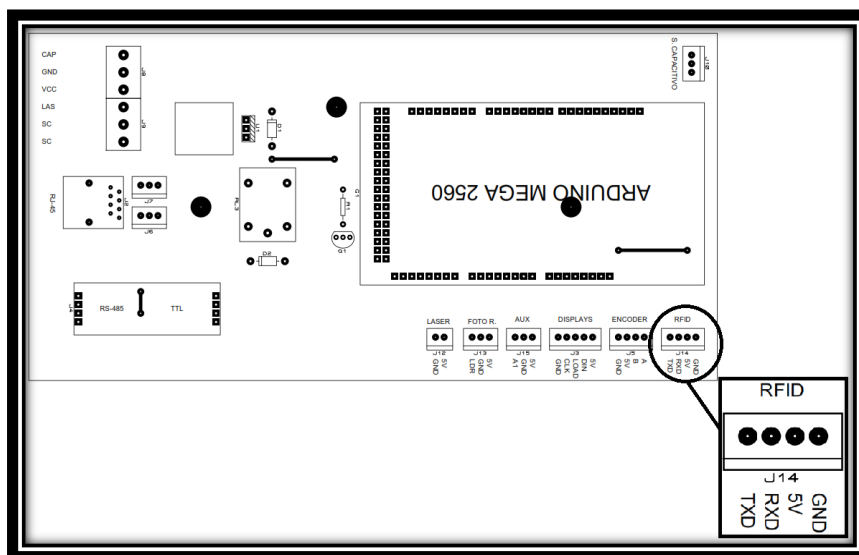


Figura 101. Conexiones al Arduino Mega 2560.

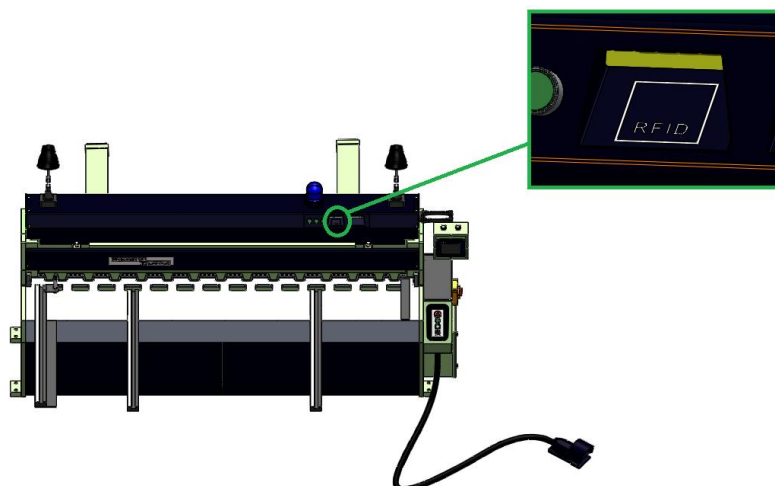


Figura 102. Ubicación del RFID en la cizalla.

5.5.3. Módulo III.

1. Potencia: Fuente de Alimentación.

Para el diseño de esta fuente de alimentación (Fig. 103), se usó lo reguladores de voltajes estándar disponibles en el mercado.

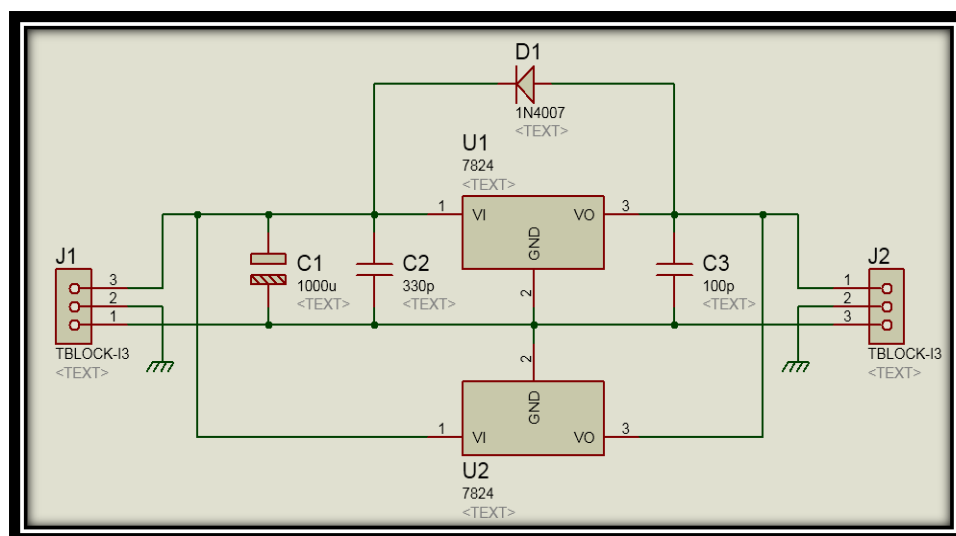


Figura 103. Diagrama eléctrico de la Fuente de Alimentación.

- **Descripción de funcionamiento:**

El circuito regulador de voltaje cumple la función de estabilizar o linealizar la señal de tensión de alimentación que va a ser entregadas a las cargas (Tarjeta Arduino y Touch Panel), eliminando los picos de voltaje provenientes de la fuente que podrían resultar peligrosos para el controlador y el panel de visualización, la salida de voltaje en el regulador es de 24 [V] con una corriente máxima de 2 [A].

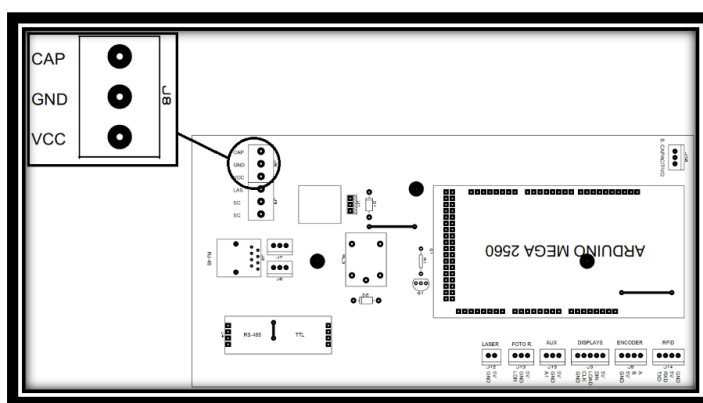


Figura 104. Ubicación de Conectores en la Tarjeta de Control.

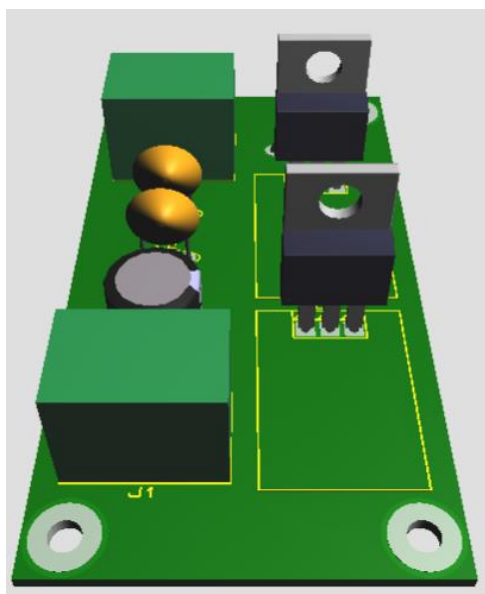


Figura 105. Modelo 3D de la Fuente de Voltaje diseñada.

2. Amplificación Eléctrica (Fig. 106).



Figura 106. Relé Electromecánico.
(CINCON, 2013)

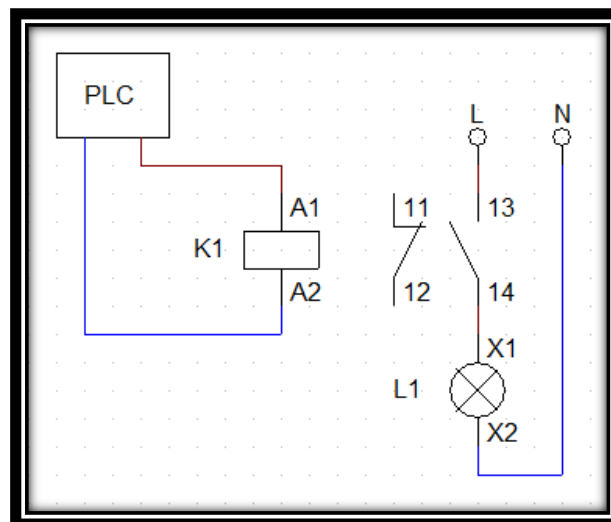


Figura 107. Conexiones del Relé Electromecánico.

- **Descripción de funcionamiento:**

El relé electromecánico es un dispositivo electromagnético que funciona como un interruptor controlado por un circuito en el que, por medio de una bobina y un electroimán acciona uno o varios contactos que permiten abrir o cerrar otros circuitos eléctricos independientes, teniendo su parte de control y de potencia claramente diferenciadas.

Para el caso del relé implementado en la máquina cizalladora, el PLC es el que controla la bobina del Relé, la cual se activará cerrando los terminales 13 y 14 del circuito y energizando de esta manera la lámpara.

5.5.4. Módulo IV

1. Visualización: Interfaz Hombre – Máquina (Fig. 108).



**Figura 108. Touch – Panel Schneider HMI STU 855.
(Schneider Electric, 2011)**

- **Descripción de funcionamiento:**

Este panel táctil contiene una interfaz gráfica diseñada para que el usuario tenga un entorno amigable e intuitivo al operarlo, en donde se muestra el proceso completo, permitiendo visualizar algunas variables del proceso (modo simple / modo continuo, estado de lámparas y baliza), además cuenta de botones que tienen las siguientes funciones (Start, 3 botones de movimiento y Home) y permite la inspección de alarmas y paros de emergencia del sistema.

El Touch – Panel Schneider HMI STU 855 tiene una pantalla de 5.7 pulgadas y está conectado al PLC TWIDO TWDLCAA24DRF mediante comunicación serial MODBUS RS-485.

2. Indicadores Numéricos: Display de 7 Segmentos (Fig. 109).

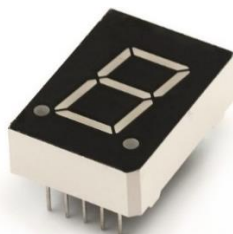


Figura 109. Display de 7 segmentos.
(Olimex, 2013)

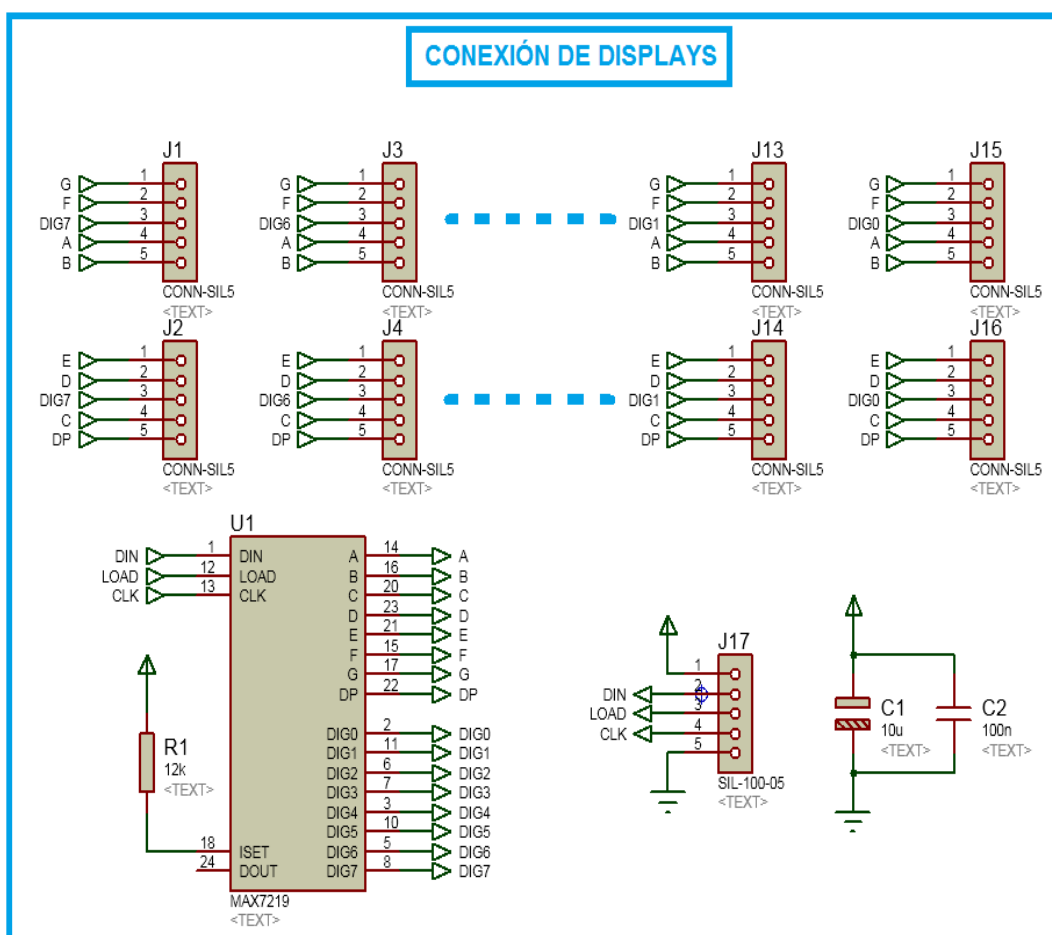


Figura 110. Diagrama de conexión de los displays.

- **Descripción de funcionamiento:**

Estos displays de 7 segmentos actúan como indicadores numéricos que por medio de un driver (MAX 7219) y la tarjeta de control (Arduino Mega 2560) muestra la distancia a la cual se realizara el corte requerido, separándose en 2 grupos: los 4 displays de la izquierda indican el valor numérico de la distancia en milímetros [mm] con una precisión de una cifra decimal; el conjunto de 4 displays de la derecha indican el valor numérico de la distancia en pulgadas [pulg.] con una precisión de 2 cifras decimales.

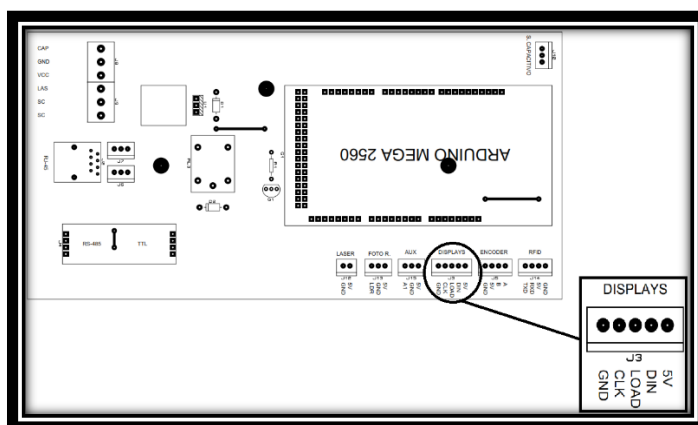


Figura 111. Ubicación de Conectores en la Tarjeta de Control.

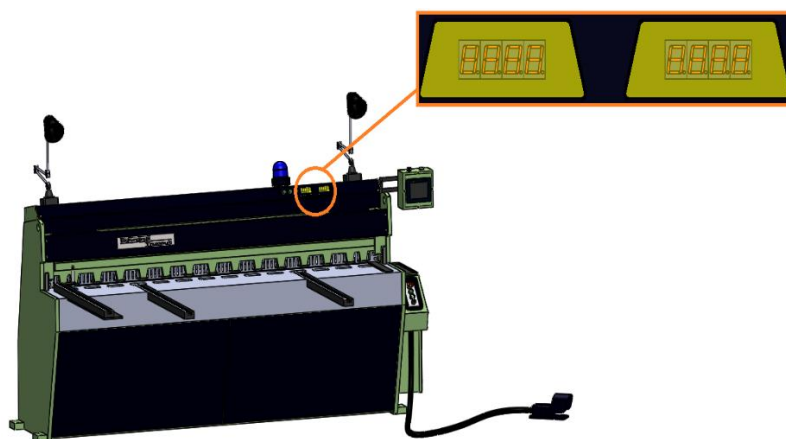


Figura 112. Ubicación de los displays en la cizalla.

3. Indicadores Luminosos: Baliza (Fig. 113).



**Figura 113. Baliza
(Elechouse, 2013)**

- **Descripción de funcionamiento:**

Este indicador luminoso es una señal para el usuario y advierte que el proceso ha sido inicializado y en consecuencia la cuchilla descenderá, lo cual solo ocurre cuando se presiona el pedal de accionamiento del proceso, de esta manera cuando se ha tenido presionado dicho pedal durante 0.5 segundos se activa la baliza durante 2 segundos advirtiendo el corte de la lámina.

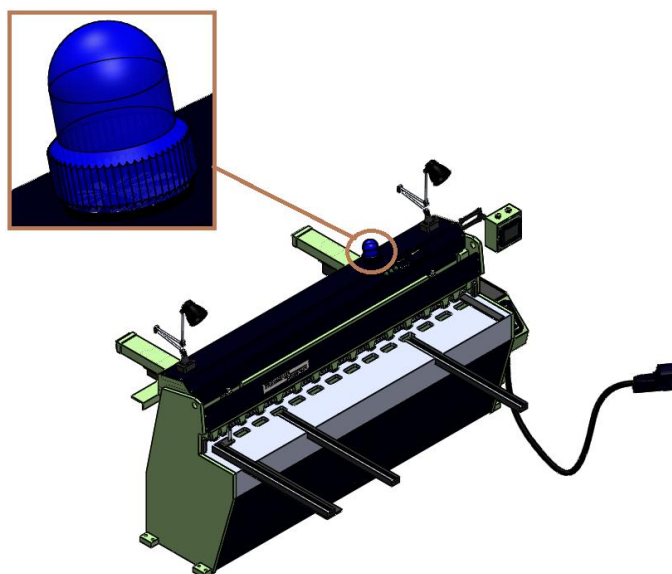


Figura 114. Ubicación de la baliza en la cizalla.

6. CAPÍTULO 6.

PRUEBAS Y RESULTADOS

6.1. Módulo I.

1. Sensor de Presencia: Sensores laser.

Los sensores de presencia laser permiten velar por la integridad del operador, esto debido a que la cizalla se detiene como paro de emergencia en caso que el sensor detecte la presencia de las manos o un objeto.

PRUEBAS.

La principal prueba que se realizó fue comprobar el funcionamiento de los sensores laser, además si al encontrarse la cizalla en funcionamiento y el sensor detectar la presencia de la mano, la máquina tiene que detenerse, y también comprobar si la señal es detectada por el controlador, en este caso el PLC Twido de Schneider.

RESULTADOS.

Como se observa en la Fig. 115, los sensores se encuentran en funcionamiento, además se puede observar como la cizalla se encuentra detenida al momento del operador poner su mano en medio de la barrera laser y por ende este estado es detectado por el PLC, tal como se indicó en el Cuadro 3, la entrada que corresponde a la barrera laser es la I0.12, que sería la luz indicadora número 12 (Fig. 116).



Figura 115. Sensores Laser en funcionamiento.



Figura 116. Cizalla detenida y señal detectada en el PLC.

2. Parámetros de Corte: Sensor Inductivo.

PRUEBAS.

El sensor inductivo tiene como función detectar el espesor máximo permitido, que en el desarrollo del proyecto se ha establecido en 2.5 [mm], por ende se probó esto y también si el PLC detecta este estado.

RESULTADOS.

En la Fig. 117, se observa como el sensor inductivo ha detectado un espesor mayor a 2.5 [mm], esto se puede corroborar debido a que el propio sensor dispone de un led indicador, que al detectar un objeto metálico este se enciende, además esta señal es detectada por el PLC, la cual es procesada por este e impide el funcionamiento de la cizalla (Revisar Anexo 1: Programación del PLC). Esta señal corresponde a la luz indicadora número 11, que sería la entrada I0.11 del autómatas (Cuadro 3).

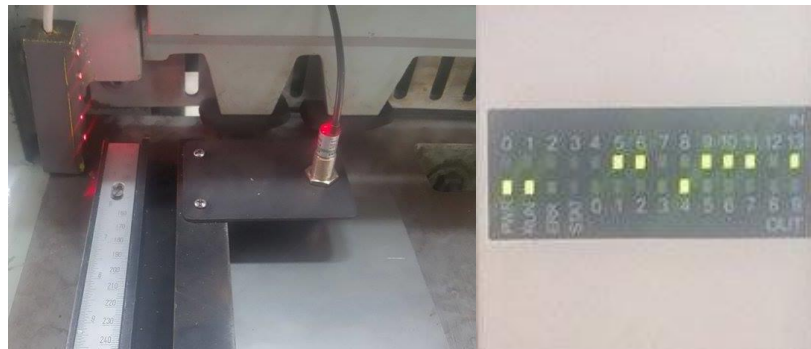


Figura 117. Espesor de tol mayor a 2.5 [mm], y señal detectada en el PLC.

3. Sensor de Desplazamiento.

PRUEBAS.

El sensor de desplazamiento es un encoder rotacional, el cual se usa para control de posición de la regla que sirve de tope para el tol y por medio de esta se puede limitar la longitud de tol a cortar (Fig. 118), por consiguiente se realizaron pruebas en cuanto a si la medida que se visualiza en los display, corresponde a la que marca la regla de tope.



Figura 118. Regla de tope cuya posición es sensada por el encoder rotacional.

RESULTADOS.

Como primer resultado se observó la medida en milímetros que mostraba los displays de 7 segmentos y se lo comparó con la posición en la que se

encontraba la regla de tope, esto se hizo con la ayuda de un flexómetro, y se pudo observar que la posición en que se encontraba la regla no era la correcta, es decir en los displays se visualizaba una medida de 400.9 [mm], mientras que con el flexómetro se midió una distancia de 456 [mm] (Fig. 119), razón por la cual se tuvieron que realizar correcciones en la programación (Revisar Anexo 2: Programación del microcontrolador), luego de corregidos los respectivos errores, se realizó varias pruebas de la posición de la regla, estos resultados se los observa en la tabla 112.

Tabla 112.

Pruebas de posición de la regla de tope.

Número	Medida visualizada en los displays. [mm]	Medición en el flexómetro. [mm]
1	100,3	100
2	249.6	250
3	320,4	320
4	419.7	420
5	530,3	530
6	650,4	650



Figura 119. Longitud visualizada en los displays (errónea) con respecto a la que se midió con el flexómetro.

Al observar los resultados en la tabla 112, se concluye que la medida mostrada en los display de 7 segmentos, tiene una tolerancia de ± 0.4 [mm].

6.2. Módulo II.

1. Controlador.

- **Microcontrolador Arduino.**

PRUEBAS.

El Arduino Mega 2560 (Fig. 120), se encuentra ubicado en la tarjeta de control, las pruebas que se realizaron fueron comprobar si está recibiendo los pulsos enviados por el encoder rotacional (Fig. 118), y además si los mismos se están visualizando en los display.



Figura 120. Arduino MEGA 2560 en la tarjeta de control.

RESULTADOS.

Se logró observar que el arduino recibe los pulsos del encoder rotacional, debido a que se los pudo visualizar en los display de 7 segmentos (Fig. 121), debido a que previamente ya fue programado el microcontrolador, ya se visualizaron las medidas en [mm] y [pulg.].



Figura 121. Visualización de medidas en [mm] y [pulg.].

- **Controlador Lógico Programable (PLC).**

PRUEBAS.

La principal prueba que se realizó fue comprobar que al alimentar el PLC, este se encienda sin inconvenientes y realice las funciones programadas correctamente.

RESULTADOS.

El PLC se enciende correctamente sin ningún inconveniente (Fig. 122) y realiza correctamente las funciones que tiene programado, por ejemplo se puede comprobar en la Fig. 117, en la cual el PLC detecta la señal del Sensor Inductivo.



Figura 122. PLC encendido correctamente.

6.3. Módulo III.

1. Fuente de Alimentación.

PRUEBAS.

Se probó si la fuente de alimentación (Fig. 123), tiene como salida los 24 [VDC], para lo que fue diseñada, debido a que tiene que alimentar al Touch Panel.



Figura 123. Fuente de Alimentación.

RESULTADOS.

La fuente tiene como salida 24,3 [V], que es un valor que no afecta en el funcionamiento del Touch Panel, debido a que este puede ser alimentado con voltajes de hasta 27 [V] ,teniendo como resultado un funcionamiento correcto por parte de este (Fig. 124).



Figura 124. Touch – Panel en correcto funcionamiento.

2. Amplificación Eléctrica.

PRUEBAS Y RESULTADOS.

Se probó si el Relé estaba conmutando correctamente al momento que el PLC envía la señal que activa la bobina, y se obtuvo como resultado, que se encuentra en correcto funcionamiento, debido a que el relé permite encender y apagar las lámparas de la cizalla. (Fig. 125)



Figura 125. Funcionamiento del Relé.

6.4. Módulo IV.

1. Interfaz Humano – Maquina.

PRUEBAS.

Se probó si la interfaz que se programó en el software de control del Touch Panel, se descargó correctamente en el dispositivo.

RESULTADOS.

Efectivamente se pudo observar que todas las ventanas se muestran correctamente (Fig. 126), el funcionamiento de cada ventana se explica en el Manual de Usuario (Revisar Anexo 4: Manual de Usuario).



Figura 126. Ventanas del Touch – Panel.

2. Indicadores Numéricos.

PRUEBAS Y RESULTADOS.

Se probó y comprobó que los display de 7 segmentos funcionen en su totalidad (Fig. 127).



Figura 127. Displays de 7 segmentos en funcionamiento.

3. Indicadores Luminosos.

PRUEBAS Y RESULTADOS.

Se probó y comprobó que la baliza funciona correctamente al momento de poner la cizalla en funcionamiento (Fig. 128).



Figura 128. Baliza en funcionamiento.

7. CAPÍTULO 7.

ANÁLISIS ECONÓMICO.

Este capítulo tiene como objetivo realizar un análisis del costo de la implementación del proyecto y de esta manera poder establecer si resulta viable instalar esta clase de sistemas.

7.1. Análisis de Costos

El costo es el dinero que se invierte para obtener un producto o servicio específico, es decir, por medio del análisis de costos se puede desagregar los rubros invertidos y conocer el costo unitario de cada insumo utilizado.

7.1.1. Costos Directos

Los costos directos son aquellos que se los puede asociar directamente a la fabricación de un solo producto, es decir, en este proyecto sería cada uno de los componentes eléctricos, electrónicos y mecánicos (materia prima) usados en la producción de este. Además, se debe considerar la mano de obra directa en la implementación del proyecto, como puede ser en la construcción, maquinado de piezas, o cableado eléctrico y electrónico.

7.1.1.1. Costos de materia prima

Aquí se detalla el costo de cada uno de los componentes usados en la implementación del proyecto. A continuación se presenta una tabla correspondiente a estos rubros, una para los materiales mecánicos y otra para los eléctricos y electrónicos.

Tabla 113.

Costos de Materiales Mecánicos.

DESCRIPCION	CANTIDAD	COSTO UNITARIO (USD)	COSTO TOTAL (USD)
Caja de control 20x20x10	1	5,15	5,15
Soportes Touch panel	1	18,38	18,38
Cadena de transmisión 1/8"	2	18,93	37,86
Tornillos y pernos varias medidas	1	50	50
Conector recto 1/2"	1	31,5	31,5
Riel DIN 1 metro	2	2,47	4,94
TOTAL			171,83

Tabla 114.

Costos Materiales Eléctricos y Electrónicos.

DESCRIPCION	CANTIDAD	COSTO UNITARIO (USD)	COSTO TOTAL (USD)
Sensor Inductivo	1	24,02	24,02
RFID Arduino	1	23,4	23,4
PLC Twido Schneider	1	170	170
HMI STU 855	1	421	421
Paquetes de Laser	1	26,72	26,72
Envíos desde USA	1	80	80
Dispositivos eléctricos (contactores, luces piloto, etc.)	1	145,07	145,07
Terminales eléctricos, etiquetas y demás	1	63,16	63,16
Cable Flexible 16 AWG c/m	80	0,16	12,8
Cable Flexible 12 AWG c/m	10	0,51	5,1
Cable Flexible 14 AWG c/m	10	0,34	3,4
Manguera para cableado 1/2" c/m	3	2,43	7,29
Implementos electrónicos varios	1	106,86	106,86
Fusibles	25	0,25	6,25
TOTAL			1115,64

7.1.1.2. Costos de mano de obra directa

Los costos de mano de obra directa son aquellos que se relacionan con cada una de las operaciones o procesos constructivos que se realizaron en la implementación del proyecto, depende básicamente del costo hora máquina-hombre, costo del equipo eléctrico y el tiempo de mecanizado obtenido al realizar los procesos constructivos de cada parte de la máquina.

Tabla 115.

Costo de Fabricación y ensamblaje.

Operación	Tiempo [hora]	Costo normal [USD/hora]	Costo Total [USD]
Machuelado	2	5	10
Torneado	4	12	48
Amolado y corte	2	10	20
Pintado cizalla	2	75	150
Fresado	2	12	24
Taladrado	3	4	12
Manufactura de PCB electrónicas	5	10	50
Cableado estructurado	36	15	540
TOTAL:			854

7.1.2. Costos Indirectos

Son aquellos costos que no intervienen de manera directa en la construcción del equipo. Estos incluyen los materiales indirectos, mano de obra indirecta, se refiere a todo personal que no tiene trabajo sobre la manufactura del producto y otros costos que son producto de la paga de servicios básicos, personal administrativo, depreciación de los equipos y cualquier gasto extra.

Tabla 116.

Costos de Mano de Obra Indirecta.

Detalle	Tiempo [horas]	Costo [USD/h]	Costo Total [USD]
Diseño PCB electrónicas	10	5	50
Levantamiento CAD de la cizalla	40	10	400
Programación y Control	16	5	80
TOTAL:			530

Tabla 117.

Costo Materiales indirectos.

Elemento	Cantidad	Costo Unitario (USD)	Costo Total (USD)
Herramientas para taladro manual DREMEL	1	22,5	22,5
Lija de grano fino (unidad)	2	0,55	1,1
Lija de grano medio (unidad)	2	0,75	1,5
Hoja de Sierra (unidad)	1	1,75	1,75
Cinta aislante (unidad)	2	0,6	1,2
Broca de cobalto 1/8"	3	3	9
Fresa ϕ 5 mm	1	14	14
TOTAL:			51,05

Tabla 118.

Costos Operativos.

Concepto	Costo [USD]
Agua Potable	15
Telefonía Celular	20
Energía eléctrica	120
Transporte o Movilización	60
Internet	70
TOTAL:	285

7.1.3. Costos Totales

A los costos totales se los define simplemente como la sumatoria de los costos directos de fabricación más los costos indirectos, se incluye también el margen de utilidad que puede estar comprendido entre el 20% y 45% adicional del costo de inversión del equipo, en este caso se considera que el margen sería del 25%. A continuación la tabla 119 indica el resumen de costos de todo el proyecto, que de manera general es representada por la siguiente ecuación.

$$Costos_{Total} = Costos_{Directos} + Costos_{Indirectos}$$

Tabla 119.

Costos totales.

Rubro	Costo
Costo de Materiales Directos	\$ 1.287,47
Costo de Mano de Obra Directa	\$ 1.034,00
Costo de Materiales Indirecta	\$ 530,00
Costo de Mano de Obra Indirectos	\$ 51,05
Costos Operativos	\$ 285,00
COSTO TOTAL	\$ 3.187,52

Como se observa en la Tabla 118, el costo total del desarrollo del proyecto es de \$3.187,52 y se considera que es factible la rehabilitación de la cizalla puesto que adquirir una nueva con características similares a la disponible en el Laboratorio de Procesos de Manufactura, hoy en día supera los \$15.000.

8. CAPÍTULO 8.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

8.1. Conclusiones.

- Se rehabilitó la cizalla Edwards disponible en el Laboratorio de Procesos de Manufactura y se encuentra operable y funcional luego de estar en desuso desde el año 2007.
- En el desarrollo del proyecto se logró identificar las partes operables de la cizalla, en la cual los dos actuadores (motores), se encontraron en perfecto funcionamiento y de igual manera con el mecanismo biela – manivela que permite realizar el corte de las planchas de tol, también se pudo identificar que la parte eléctrica de la cizalla se encontraba totalmente desconectada, además de dispositivos eléctricos no operables que posteriormente fueron reemplazados.
- Se seleccionó de manera técnica cada uno de los componentes eléctricos y electrónicos gracias a que se aplicó el método de criterios ponderados, lo que ayudó en gran medida a seleccionar el mejor componente para el desarrollo del proyecto.
- Se logró diseñar un HMI amigable con el operador, el cual presenta niveles de usuario tanto para profesor como para estudiante, ventanas emergentes que muestran el fallo en el sistema, además que en caso de no iniciarse sesión por parte de los usuarios, la cizalla no entra en funcionamiento.
- En cuanto a las modificaciones físicas que se realizaron para la instalación de los sensores, luego de un profundo análisis se logró hacerlo conservando la estética de la cizalla.
- En la automatización de la cizalla se usó un PLC (Controlador Lógico Programable) y se evitó realizar la lógica de contactores que inicialmente tenía la cizalla, ya que el PLC permite realizar esta lógica a través de programación en software, lo cual reduce la cantidad de

conexiones eléctricas y por ende aumenta la eficiencia en el desarrollo del proyecto.

- Se implementaron sensores de presencia que permiten velar por la integridad del operador en caso que este introdujera su mano al momento que la cizalla se encuentre realizando un corte, lo que permite detener la máquina, además la cizalla no entra en funcionamiento si estos sensores están activados.

8.2. Recomendaciones.

- Se debe realizar el mantenimiento general de la máquina como son lubricación de la caja reductora, de los rodamientos, ejes, guías, cambios de fusibles, etc.
- Se debe revisar constantemente la calidad del corte de las planchas del tol para así determinar si las cuchillas se encuentran afiladas correctamente, de no ser así se recomienda realizar el afilado de las mismas.
- Para mejorar el proyecto se puede implementar barreras laser en la parte posterior de la cizalla para evitar que funcione la máquina cuando existan personas alrededor de la parte por donde realiza el corte la cizalla.
- Se recomienda que en caso de realizar el corte de planchas de tol de acero inoxidable el espesor máximo de corte de la cizalla se reduce a la mitad, es decir la misma se encuentra configurada para un espesor máximo de 2.5 [mm], lo que conlleva que se cortará planchas de acero inoxidable hasta un espesor de 1.25 [mm].
- Se puede mejorar la precisión en la medida de la longitud a cortar, si se emplea un encoder lineal para el control de posición, el cual no se lo escogió en el desarrollo del proyecto debido a su elevado costo.
- Se puede adquirir sensores laser de presencia industriales, los cuales permiten tener una mayor sección de protección que la que actualmente se dispone.

- La cizalla está diseñada para cortar acero A36, pero existen materiales de resistencia menor que se pueden cortar en la misma, para ello al considerar que el manual fabricante de la cizalla indica que la capacidad de corte de esta es de 45 [Kg/m²], y al hacer uso de la ecuación 2.8, se logró establecer lo siguiente.

Tabla 120.

Espesores de Materiales a Cortar

Material	Espesor [mm]
Acero Inoxidable.	1.25
Acero A36.	2.5
Aluminio.	3.25
Cobre.	3.5

BIBLIOGRAFÍA.

- ARDUINO. (11 de Julio de 2015). Obtenido de <https://www.arduino.cc/>
- BÖHLER. (6 de Abril de 2012). *BÖHLER*. Obtenido de <http://www.bohlerperu.com/2886.php>
- Brook Crompton. (2011). Obtenido de www.brookcrompton.com/pdf-files/20113E_W_CI_IE2.pdf
- CINCON. (Noviembre de 2013). Obtenido de http://www.cincon.com.tw/product/DC_DC_Converters
- *Cmap*. (25 de Marzo de 2013). Obtenido de <http://cmapspublic2.ihmc.us/rid=1GT74XDRS-WVF7N2-NV1/Maquina.cmap>
- Direct-Industry. (2014). *Direct Industry*. Obtenido de <http://www.directindustry.es/fabricante-industrial/sensor-proximidad-inductivo-85937.html>
- DUBBEL, H. (2003). *MANUAL DEL CONSTRUCTOR DE MÁQUINAS*. Argentina: Labor S. A.

- Elechouse. (2013). Obtenido de http://www.elechouse.com/elechouse/index.php?main_page=index&cPath=90_93
- Falk, D. (2001). *Metalotecnia Fundamental*. Barcelona: REVERTÉ S. A.
- FASSCO REMSCHEID. (25 de Enero de 2014). *FASSCO REMSCHEID*. Obtenido de <http://www.fassco.de/es/service/schleifanweisungen-maschinenmesser-ganzstahl.html>
- Fronius. (01 de Septiembre de 2013). *Fronius*. Obtenido de Fronius: http://www.fronius.com.mx/cps/rde/xbcr/SID-3E795226-2468A49B/fronius_mexico/TPSi_FLYER_MEX-low.pdf
- InduSoft. (31 de Mayo de 2013). *Wonderware by Schneider Electric*. Obtenido de <http://www.indusoft.com/blog/2013/05/31/cual-es-la-diferencia-entre-scada-y-hmi/>
- KNUTH . (6 de Abril de 2015). *KNUTH MACHINE TOOLS*. Obtenido de <http://www.knuth-brasil.com.br>
- MVM SRL. (12 de Julio de 2014). *MVM SRL - Afiladoras y Rectificadoras*. Obtenido de <http://www.mvmsrl.it/es/chi-siamo.asp>
- Neuroscience and Robotic LAB. (Julio de 2013). Obtenido de http://hades.mech.northwestern.edu/index.php/Rotary_Encoder
- NEWALL. (06 de Junio de 2012). Obtenido de <http://www.newall.com/>
- Olimex. (Febrero de 2013). Obtenido de <https://www.olimex.com/>
- Paredes, A. J. (26 de Enero de 2014). *MECANOTECNIA*. Obtenido de http://mecanotecnia.blogspot.com/2014_01_01_archive.html
- Raspberry Pi. (21 de Mayo de 2015). Obtenido de <https://www.raspberrypi.org/>
- Riba, C. (2002). *Diseño Concurrente*. Barcelona: UPC.
- Rockwell-Automation. (2013). *Rockwell-Automation*. Obtenido de <http://www.rockwellautomation.com/>
- Roldán, J. (2003). *Manual del electromecánico de mantenimiento*. Madrid: Paraninfo S. A.

- Schneider Electric. (2011). *Schneider Electric*. Obtenido de <http://www.schneider-electric.com/products/mx/ls/2100-hmi-terminales-y-pcs-industriales/82307-hmi-configuration-software/1054-vijeo-designer/>
- Schvab, L. (5 de Mayo de 2011). *Instituto Nacional de Educación Tecnológica*. Obtenido de <http://www.inet.edu.ar/wp-content/uploads/2012/11/maquinas-y-herramientas.pdf>
- SIEMENS. (10 de Julio de 2013). *SIEMENS*. Obtenido de <http://www.industry.siemens.com/topics/global/es/tia-portal/pages/default.aspx>
- Sigma-Electrónica. (2015). Obtenido de <http://www.sigmaelectronica.net/>
- Texas Instruments. (Agosto de 2012). Obtenido de <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/ua7824.pdf>
- UDOO. (Marzo de 2015). Obtenido de <http://www.udoo.org/>
- Wonderware. (2014). *Wonderware Spain*. Obtenido de <http://www.wonderware.es/contents/WonderwareInTouchHMI.asp>

ANEXOS.