



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, SIMULACIÓN Y PROGRAMACIÓN DE UNA
MÁQUINA TINTURADORA, SECADORA Y ENROLLADORA DE
PAPEL PARA LA PRODUCCIÓN DE SERPENTINAS PARA LA
EMPRESA EMPACMACHINE CIA. LTDA.**

AUTOR: AVILA CALDERÓN, FRANCISCO JAVIER

DIRECTOR: ING. RIOFRÍO, PATRICIO

CODIRECTOR: ING. LEÓN, PAOLA

SANGOLQUÍ

2015

CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO

Certificamos que el presente proyecto titulado "DISEÑO, SIMULACIÓN Y PROGRAMACIÓN DE UNA MÁQUINA TINTURADORA, SECADORA Y ENROLLADORA DE PAPEL PARA LA PRODUCCIÓN DE SERPENTINAS PARA LA EMPRESA EMPACMACHINE CIA. LTDA.", fue desarrollado en su totalidad por Francisco Javier Avila Calderón, bajo nuestra dirección.



Ing. Patricio Riofrío
DIRECTOR



Ing. Paola León
CODIRECTOR

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

El presente proyecto titulado "DISEÑO, SIMULACIÓN Y PROGRAMACIÓN DE UNA MÁQUINA TINTURADORA, SECADORA Y ENROLLADORA DE PAPEL PARA LA PRODUCCIÓN DE SERPENTINAS PARA LA EMPRESA EMPACMACHINE CIA. LTDA.", ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado el derecho intelectual de terceros considerándolos en citas y como fuentes en el registro bibliográfico.

Consecuentemente declaro que este trabajo es de mi autoría, en virtud de ello me declaro responsable del contenido, veracidad y alcance del proyecto en mención.



Francisco Javier Avila Calderón

AUTORIZACIÓN

Yo, Francisco Javier Avila Calderón, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas "ESPE" a publicar en la biblioteca virtual de la institución el presente trabajo "Diseño, simulación y programación de una máquina tinturadora, secadora y enrolladora de papel para la producción de serpentinas para la empresa EMPACMACHINE CIA. LTDA.", cuyo contenido, ideas y criterios son de mi autoría y responsabilidad.

Sangolquí, agosto del 2015



Francisco Javier Avila Calderón

DEDICATORIA

Este trabajo lo dedico a Dios, por siempre darme las fuerzas para seguir adelante, por enseñarme a encarar las adversidades y a no rendirme en el camino.

A mis padres Jaime y Rocío, por su apoyo, consejo, amor, comprensión, y ayuda en los momentos difíciles. Me han dado todo lo que soy.

A toda mi familia, por sus palabras de aliento y su apoyo incondicional.

Francisco Javier Avila Calderón

AGRADECIMIENTO

A Dios, por ayudarme a cumplir este sueño anhelado.

A mis padres y toda mi familia, por el apoyo brindado para alcanzar esta meta.

A mis profesores, compañeros y amigos de la Universidad de las Fuerzas Armadas “ESPE”, especialmente a la gente de Ingeniería Mecatrónica.

Una mención especial de agradecimiento al Ing. Patricio Riofrío e Ing. Paola León quienes con su valiosa y generosa ayuda han dirigido el desarrollo de este proyecto.

Francisco Javier Avila Calderón

2.4.1.1	MOTORES DE CORRIENTE CONTINUA	13
2.4.1.2	MOTORES DE CORRIENTE ALTERNA	14
CAPÍTULO III.....		16
PLANTEAMIENTO DE DISEÑO		16
3.1	NECESIDADES DEL CLIENTE	16
3.1.1	LA CASA DE LA CALIDAD	16
3.1.1.1	IDENTIFICACIÓN DE LO QUE EL CLIENTE DESEA	17
3.1.1.2	IDENTIFICACIÓN DE COMO EL PRODUCTO SATISFARÁ LOS DESEOS DEL CLIENTE	17
3.1.1.3	RELACIÓN ENTRE LOS DESEOS DEL CLIENTE CON LOS CÓMO DEL PRODUCTO	17
3.1.1.4	IDENTIFICACIÓN DE LAS RELACIONES ENTRE LOS CÓMO DE LA EMPRESA	18
3.1.1.5	DESARROLLO DE LA CLASIFICACIÓN DE LA IMPORTANCIA	18
3.1.1.6	EVALUACIÓN DE LOS PRODUCTOS DE LA COMPETENCIA	19
3.1.1.7	DETERMINACIÓN DE LOS ATRIBUTOS TÉCNICOS DESEABLES, SU DESEMPEÑO Y EL DESEMPEÑO DE LA COMPETENCIA FRENTE A ESTOS ATRIBUTOS	19
3.1.1.8	ESQUEMA DE LA CASA DE LA CALIDAD	19
3.2	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LAS SOLUCIONES PLANTEADAS	20
3.2.1	MÁQUINA AUTOMÁTICA CONTROLADA POR PLC	20
3.2.2	RODILLO DE TINTURADO SUAVE	21
3.2.3	MÁQUINA REGULABLE PARA VARIOS TAMAÑOS	21
3.3	NECESIDADES ESPECÍFICAS DEL CLIENTE	21
3.4	SISTEMAS NECESARIOS	22
3.5	SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA DE DISEÑO	22
3.5.1	MÉTODO DE EVALUACIÓN	23
3.5.2	CRITERIOS DE EVALUACIÓN	24
3.5.2.1	COSTO	24
3.5.2.2	FUNCIONALIDAD	25
3.5.2.3	FACILIDAD DE MONTAJE	25
3.5.2.4	FACILIDAD DE OPERACIÓN	25
3.5.2.5	MANTENIMIENTO	25
3.5.3	VALORACIÓN DE LOS SISTEMAS	26
3.5.3.1	VALORACIÓN DEL SISTEMA DE PINTADO	26

3.5.3.2	VALORACIÓN DEL SISTEMA DE DESBOBINADO DE PAPEL	29
3.6	ALTERNATIVA DE DISEÑO SELECCIONADA.....	32
3.6.1	SISTEMA DOSIFICADOR DE TUBOS PARA ENROLLAR	33
3.6.2	SISTEMA DE DESBOBINADO DE PAPEL.....	34
3.6.3	SISTEMA DE PINTADO	36
3.6.4	SISTEMA DE SECADO	38
3.6.5	SISTEMA DE ENROLLADO	39
3.6.6	SISTEMA DE EXPULSIÓN.....	42
3.6.7	SISTEMA DE CORTE.....	43
3.7	SECCIONAMIENTO DE LA MÁQUINA.....	45
3.7.1	SECCIÓN DE MATERIA PRIMA Y TINTURADO	45
3.7.2	SECCIÓN DE SECADO.....	47
3.7.3	SECCIÓN DE ENROLLE Y CORTE	47
CAPÍTULO IV	.....	50
DISEÑO MECÁNICO	.....	50
4.1	DIMENSIONAMIENTO DEL EJE PARA EL RODILLO DE SOPORTE DEL ROLLO DE MATERIA PRIMA	50
4.2	SELECCIÓN DE CHUMACERAS PARA EL RODILLO DE SOPORTE DE LA MATERIA PRIMA	57
4.3	DISEÑO DE LA ESTRUCTURA PARA LA MATERIA PRIMA.....	59
4.3.1	SELECCIÓN DEL MATERIAL PARA LA ESTRUCTURA PARA LA MATERIA PRIMA.....	59
4.3.2	DIMENSIONES DE LA ESTRUCTURA PARA LA MATERIA PRIMA.....	59
4.3.3	ANÁLISIS DE ESFUERZOS DE LA ESTRUCTURA PARA LA MATERIA PRIMA.....	61
4.4	DIMENSIONAMIENTO DEL RODILLO DE PINTADO	63
4.5	DIMENSIONAMIENTO DEL EJE PARA EL RODILLO DE TINTURADO	65
4.6	SELECCIÓN DE CHUMACERAS PARA EL RODILLO DE TINTURADO	68
4.7	DIMENSIONAMIENTO DEL RODILLO DE PRESIÓN PARA EL TINTURADO	70
4.8	SELECCIÓN DEL PISTÓN DEL SISTEMA DE TINTURADO	71
4.9	SELECCIÓN DEL TUBO DE ENROLLE.....	75
4.10	SELECCIÓN DE LOS PISTONES DEL SISTEMA DE DOSIFICACIÓN DE TUBOS	77
4.11	SELECCIÓN DEL MOTOR DE ENROLLE.....	81

4.12	DISEÑO DEL EJE DEL RODILLO DE ENROLLE	91
4.13	SELECCIÓN DE CHUMACERAS PARA EL RODILLO DE ENROLLE	101
4.14	SELECCIÓN DEL MOTOR DE ENROLLE FINAL	103
4.15	DISEÑO DEL EJE DEL RODILLO DE ENROLLE FINAL	104
4.16	SELECCIÓN DE CATALINAS PARA EL SISTEMA DE CORTE	108
CAPITULO V		110
DISEÑO ELÉCTRICO Y DE CONTROL		110
5.1	REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA.....	110
5.1.1	REQUERIMIENTOS ELÉCTRICOS.....	110
5.1.2	REQUERIMIENTOS DE CONTROL.....	110
5.2	SELECCIÓN DE LOS MOTORES ELÉCTRICOS.....	111
5.3	CONEXIÓN DE LOS BORNES EN LA CAJA DE LOS MOTORES	111
5.4	CÁLCULO DE PROTECCIONES PARA LOS MOTORES.....	112
5.5	MECANISMOS DE PROTECCIÓN Y SEGURIDAD	113
5.5.1	INTERRUPTOR	113
5.5.2	FUSIBLES.....	114
5.5.3	CONTACTOR	114
5.5.3.1	DIMENSIONAMIENTO DE CONTACTORES	115
5.5.4	RELÉ TÉRMICO	116
5.5.4.1	REGULACIÓN Y SELECCIÓN DE RELÉS TÉRMICOS.....	116
5.5.5	VARIADOR DE FRECUENCIA	118
5.5.5.1	SELECCIÓN DEL VARIADOR DE FRECUENCIA	119
5.6	CÁLCULO DE LA SECCIÓN DE LOS CONDUCTORES.....	120
5.7	PLC	123
5.7.1	SELECCIÓN DEL PLC	123
5.7.2	CONEXIONES DEL PLC	125
5.7.3	PROGRAMACIÓN DEL PLC	128
5.8	SENSORES	128
5.8.1	SENSORES MAGNÉTICOS	128
5.8.1.1	SELECCIÓN DE SENSORES MAGNÉTICOS	129
5.8.2	SENSOR DE TEMPERATURA (TERMOCUPLA).....	129
5.8.2.1	SELECCIÓN DE TERMOCUPLA.....	130
5.8.3	SENSOR DE POSICIÓN (ENCODER)	131
5.8.3.1	SELECCIÓN DEL ENCODER	131
5.9	HMI.....	132
5.9.1	SELECCIÓN DEL HMI	132
5.9.2	PROGRAMACIÓN DEL HMI.....	133
5.10	CONTROL DE TEMPERATURA.....	135

5.11	RESISTENCIA ELÉCTRICA TIPO TUBULAR	135
5.11.1	SELECCIÓN DE RESISTENCIAS ELÉCTRICAS	137
5.12	ELECTROVÁLVULAS	139
5.12.1	SELECCIÓN DE ELETROVÁLVULAS	139
5.13	DISTRIBUCIÓN DEL TABLERO ELÉCTRICO	140
5.14	SECUENCIA DE FUNCIONAMIENTO.....	141
5.15	PROGRAMACIÓN Y SIMULACIÓN.....	145
CAPITULO VI	.....	151
ANÁLISIS DE COSTO	.....	151
6.1	COSTOS DIRECTOS.....	151
6.1.1	COSTOS DE MATERIA PRIMA.....	151
6.1.2	COSTOS DE ACCESORIOS Y DISPOSITIVOS.....	152
6.1.3	COSTOS DE MANO DE OBRA	153
6.1.4	COSTOS DE SERVICIOS Y TRATAMIENTOS ESPECIALES.....	154
6.2	COSTOS INDIRECTOS	155
6.3	COSTO TOTAL DE LA MÁQUINA.....	155
CAPITULO VII	.....	157
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	.....	157
7.1	CONCLUSIONES	157
7.2	RECOMENDACIONES	158

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Dimensiones rollo de papel tinturado.....	2
Figura 2. Máquina desbobinadora	5
Figura 3. Máquina desbobinadora vertical	6
Figura 4. Máquina desbobinadora horizontal	7
Figura 5. Máquina desbobinadora fija	8
Figura 6. Máquina desbobinadora móvil	8
Figura 7. Anilina varios colores	10
Figura 8. Componentes de un cilindro de doble efecto	11
Figura 9. Tipos de motores de corriente continua.....	14
Figura 10. Motores de tipo Jaula de Ardilla.....	15
Figura 11. Esquema Casa de la Calidad	20
Figura 12. Secuencia del proceso.....	32
Figura 13. Sistema de dosificación de tubos para enrollar (vista lateral)	33
Figura 14. Sistema de dosificación de tubos para enrollar (vista isométrica) ...	34
Figura 15. Sistema de desbobinado de papel (vista lateral)	35
Figura 16. Sistema de desbobinado de papel (vista isométrica).....	35
Figura 17. Mecanismo de frenado	36
Figura 18. Sistema de tinturado de papel (vista lateral).....	37
Figura 19. Sistema de tinturado de papel (vista isométrica)	37
Figura 20. Sistema de secado de papel (vista lateral)	38
Figura 21. Sistema de secado de papel (vista isométrica).....	39
Figura 22. Ubicación de las resistencias tipo tubular (vista superior)	39
Figura 23. Sistema de enrollado de papel (vista lateral)	40
Figura 24. Sistema de enrollado de papel y sus 3 puntos de apoyo (vista lateral).....	41
Figura 25. Sistema de enrollado de papel (vista isométrica)	41
Figura 26. Ubicación del sistema de expulsión	42
Figura 27. Sistema de expulsión contraído (vista isométrica).....	42
Figura 28. Ubicación del sistema de corte (vista isométrica)	43
Figura 29. Sistema de corte (vista isométrica).....	44
Figura 30. Vista lateral detallada de la cuchilla.....	44
Figura 31. Vista superior detallada de la cuchilla.....	45
Figura 32. Sección de materia prima y tinturado (vista lateral)	46
Figura 33. Sección de materia prima y tinturado (vista isométrica).....	46
Figura 34. Sección de secado (vista isométrica).....	47
Figura 35. Sección de enrollado y corte (vista lateral)	48
Figura 36. Sección de enrollado y corte (vista isométrica).....	48
Figura 37. Diseño planteado (vista isométrica)	49

Figura 38. Información del rollo de papel periódico o diario.....	51
Figura 39. Rodillo para materia prima.....	51
Figura 40. Diagrama de cuerpo libre del eje	53
Figura 41. Análisis de deflexión del eje del rodillo para materia prima	56
Figura 42. Dimensiones del rodillo de soporte para materia prima	58
Figura 43. Chumacera de pie UCP 205-015.....	59
Figura 44. Dimensiones de la estructura para la materia prima.....	60
Figura 45. Estructura con la materia prima montada (vista lateral y superior) ..	60
Figura 46. Tapón de caucho	61
Figura 47. Resultado del análisis de tensiones.....	62
Figura 48. Resultado del análisis del Factor de Seguridad (FDS)	63
Figura 49. Resultado del análisis de deformación	63
Figura 50. Dimensiones tubo vulcanizado	65
Figura 51. Diagrama de cuerpo libre del eje del rodillo de tinturado	66
Figura 52. Análisis de deflexión del eje del rodillo de tinturado	68
Figura 53. Dimensiones del rodillo de tinturado	69
Figura 54. Chumacera UCFL 204.....	69
Figura 55. Partes del rodillo de presión para el tinturado.....	70
Figura 56. Dimensiones del rodillo de presión para el tinturado	70
Figura 57. Separación necesaria entre rodillos.....	71
Figura 58. Propiedades físicas del eje para el rodillo de presión para el tinturado.....	72
Figura 59. Pieza para soporte del rodillo de presión para el tinturado	72
Figura 60. Propiedades físicas de la pieza soporte para el rodillo de presión para el tinturado	73
Figura 61. Dimensiones del marco para el pistón compacto 5x32.....	75
Figura 62. Mecanismo de presión para el tinturado (vista frontal)	75
Figura 63. Dimensiones del tubo de enrolle.....	77
Figura 64. Esquema básico del sistema dosificador de tubos	77
Figura 65. Dimensiones de las placas de paso	78
Figura 66. Propiedades físicas de la placa de paso.....	78
Figura 67. Carrera necesaria de los pistones	80
Figura 68. Dimensiones de los marcos para los pistones 50x16	80
Figura 69. Sistema dosificador de tubos (vista superior)	81
Figura 70. Espiral de Arquímedes.....	81
Figura 71. Rodillos del mecanismo de enrolle	85
Figura 72. Catálogo virtual VARVEL.....	90
Figura 73. Motor de 1hp con caja reductora #50 VARVEL (TechDesing Quito) 91	
Figura 74. Rodillo de enrolle	91
Figura 75. Fuerzas que actúan en el rodillo.....	93
Figura 76. Elementos y distancias del eje.....	95

Figura 77. Diagrama momentos y cortante plano YZ.....	95
Figura 78. Diagrama momentos y cortante plano XZ.....	96
Figura 79. Distancias del eje de enrollado final	105
Figura 80. Diagrama de momentos y cortante plano ZY (eje enrollado final)	106
Figura 81. Catalinas del sistema de corte	109
Figura 82. Simbología normalizada de un seccionador	113
Figura 83. Simbología normalizada de un seccionador con fusibles	114
Figura 84. Simbología normalizada de un contactor.....	115
Figura 85. Simbología normalizada de un relé térmico.....	116
Figura 86. Variador de frecuencia.....	119
Figura 87. PLC XINJE.....	123
Figura 88. Dimensiones PLC XINJE XC32	125
Figura 89. Conexión de entradas al PLC XINJE XC24	126
Figura 90. Conexión de salidas al PLC XINJE XC24.....	126
Figura 91. Circuito de acondicionamiento de señales de salida del PLC.....	127
Figura 92. Circuito de potencia de salida del PLC	127
Figura 93. Software XC Series Program Tool.....	128
Figura 94. Interruptor magnético Airtac.....	129
Figura 95. Termocupla tipo tronillo J.....	130
Figura 96. ENCODER.....	131
Figura 97. OP 320.....	133
Figura 98. Software OP320	134
Figura 99. Mapa de navegación de la pantalla	134
Figura 100. Control de temperatura TC4S.....	135
Figura 101. Partes de una resistencia eléctrica tipo tubular	136
Figura 102. Carga resistiva en delta	137
Figura 103. Conexiones del control de temperatura	138
Figura 104. Circuito eléctrico y de mando del horno.....	139
Figura 105. Electroválvula AIRTAC	140
Figura 106. Dimensión y distribución del tablero eléctrico	141
Figura 107. Diagrama de flujo del proceso (parte 1).....	142
Figura 108. Diagrama de flujo del proceso (parte 2).....	143
Figura 109. Diagrama de flujo del proceso (parte 3).....	144
Figura 110. Secuencia de funcionamiento de la máquina	145
Figura 111. Programa ladder (parte 1).....	146
Figura 112. Programa ladder (parte 2).....	147
Figura 113. Circuito neumático de la simulación.....	148
Figura 114. Diagramas de fase.....	149
Figura 115. Simulación en PC Simu	150

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Propiedades de la Anilina	9
Tabla 2 Ejemplo para el método ordinal corregido de criterios ponderados	23
Tabla 3 Evaluación del peso específico de cada criterio para el sistema de pintado de	27
Tabla 4 Evaluación del peso específico de cada criterio para el sistema de pintado	28
Tabla 5 Conclusión de soluciones para el sistema de pintado	28
Tabla 6 Evaluación del peso específico de cada criterio para el sistema de desbobinado	30
Tabla 7 Evaluación del peso específico de cada criterio para el sistema de desbobinado	31
Tabla 8 Conclusión de soluciones para el sistema de desbobinado	31
Tabla 9 Catálogo de tubería de acero al carbono (Aceros MG Quito)	51
Tabla 10 Catálogo de ejes macizos y ejes huecos (Aceros MG Quito)	57
Tabla 11 Catálogo de chumaceras (Aceros MG Quito)	58
Tabla 12 Catálogo de tubería de acero al carbono (Aceros MG Quito)	64
Tabla 13 Catálogo de ejes macizos y ejes huecos	67
Tabla 14 Catálogo de chumaceras (Aceros MG Quito)	69
Tabla 15 Catálogo de rodamientos	71
Tabla 16 Catálogo airtac	74
Tabla 17 Catálogo de tubos y accesorios de acero inoxidable (Aceros MG Quito)	76
Tabla 18 Catálogo airtac	79
Tabla 19 Características papel periódico (espesor)	82
Tabla 20 Datos técnicos de los motores seleccionados (Catálogo virtual VARVEL)	111
Tabla 21 Dimensionamiento de contactores	115
Tabla 22 Factor de servicio de la norma NEMA MG-1	117
Tabla 23 Catálogo de relés térmicos SASSIN	118
Tabla 24 Modelos de variadores de frecuencia	119
Tabla 25 Amperaje que soportan los cables de cobre	122
Tabla 26 Actuadores (salidas del PLC)	124
Tabla 27 Sensores (entradas del PLC)	124
Tabla 28 Especificaciones generales PLC XINJE XC3 - 32R	125
Tabla 29 Especificaciones generales interruptor magnético Airtac	129
Tabla 30 Tipos de termocuplas y sus características	130
Tabla 31 Características técnicas ENCODER	132

Tabla 32 Especificaciones eléctricas OP320	133
Tabla 33 Características técnicas del TC4S	135
Tabla 34 Especificaciones generales de resistencias eléctricas tubulares	136
Tabla 35 Especificaciones técnicas de la electroválvula AIRTAC	140
Tabla 36 Actuadores de la máquina	145
Tabla 37 Costos de materia prima	151
Tabla 38 Costos de accesorios y dispositivos	152
Tabla 39 Costos de mano de obra.....	154
Tabla 40 Costos de servicios y tratamientos especiales.....	154
Tabla 41 Costos de material indirecto.....	155
Tabla 42 Costos de servicio y adicionales indirectos.....	155
Tabla 43 Costo total.....	156

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A. CATÁLOGOS.....	¡Error! Marcador no definido.
ANEXO B. PROGRAMAS.....	¡Error! Marcador no definido.
ANEXO C. PLANOS	¡Error! Marcador no definido.

RESUMEN

El presente trabajo consiste en el diseño, simulación y programación de una máquina tinturadora, secadora y enrolladora de papel para la producción de serpentinas para la empresa EMPACMACHINE CIA. LTDA. Con este trabajo se abre una nueva área de investigación y producción en la empresa para dar solución a las necesidades específicas de un cliente que es productor de serpentinas. La máquina hará rollos de papel tinturado de máximo 0.9 m de ancho y 3 m de largo, el pintado del papel se lo realizará mediante un rodillo de caucho que estará parcialmente sumergido en tinta, el papel tinturado pasará por un horno eléctrico para el secado de la tinta, el enrollado del papel tinturado se realizará automáticamente en tubos de 32 mm de diámetro. Para cumplir los parámetros de funcionamiento de la máquina se ha realizado el dimensionamiento y selección de elementos mecánicos, neumáticos, eléctricos y de control, se dibujó los planos constructivos de la máquina, se realizó el programa del PLC con su respectiva simulación y HMI, además se hizo un análisis económico para conocer los costos de producción de la máquina. Con el trabajo realizado se logra aumentar la producción en más del 50%, dando como resultado una producción de 1000 rollos de papel tinturado en 8 horas de trabajo. Todo el diseño está basado en diferentes ramas que conforman la Ingeniería Mecatrónica.

PALABRAS CLAVES:

TINTURADORA

ENROLLADORA

PLC

SIMULACIÓN

HMI

ABSTRACT

This work consists of the design, simulation and programming of a tinturadora machine, dryer and reel paper for the production of coils for the company EMPACMACHINE CIA. LTDA. With this work, a new area of research and production company opens to solve the specific needs of a customer who is a producer of streamers. The machine will roll of dyed paper of maximum 0.9 m wide and 3 m long, painted paper would be made by a rubber roller which is partially immersed in ink, the dyed paper will go through an oven for drying ink, roll of paper dyed automatically in tubes 32 mm in diameter. To meet the operating parameters of the machine was made sizing and selection of mechanical components electric, pneumatic, and control the construction plans of the machine was drawn, the PLC program was conducted with the respective simulation and HMI also It became an economic analysis to know the costs of production of the machine. With the work results in increased production over 50%, resulting in production of dyed paper rolls 1000 in 8 hours. The entire design is based on different branches that make up the Mechatronics Engineering.

KEYWORDS:

TINCTURED

WINDING

PLC

SIMULATION

HMI

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1.1 INTRODUCCIÓN

Las empresas que quieren aumentar la producción y mejorar la calidad de sus productos han visto la necesidad de automatizar sus procesos, para lo cual recurren al uso de máquinas ya existentes que les ayuden con los mismos.

Para procesos que son muy comunes en la industria existen máquinas para darles solución en una amplia gama, pero cuando el proceso es único o singular encontrar una máquina para este es complicado.

El diseño, simulación y programación de una máquina tinturadora, enrolladora y secadora de papel dará solución a las necesidades específicas de un cliente cuya empresa está encargada de la producción de serpentinas.

El proceso de la producción de serpentinas es largo y se lo realiza en etapas bien definidas, empezando con la realización de rollos de papel tinturado, luego el rollo de color es cortado y por último los anillos de papel de colores son mezclados y empacados.

1.2 ANTECEDENTES

EMPACMACHINE CIA. LTDA. es una empresa que está abriéndose paso dentro del mercado nacional en cuanto a la producción de máquinas se refiere. Por lo cual es importante abarcar varios campos, en este caso el sector artesanal de las serpentinas, el cual quiere aumentar su producción y tener mayor seguridad en sus procesos.

Por lo indicado EMPACMACHINE CIA. LTDA. pretende construir una máquina tinturadora, secadora y enrolladora de papel para la producción de

serpentinadas, para lo cual necesita de un diseño que dé solución a las necesidades planteadas.

La finalidad del equipo es reemplazar la línea de producción que actualmente posee el cliente, ya que se lo viene haciendo de manera artesanal, la cual presenta algunos problemas y peligros como ruptura del papel por exceso de tinta, tinturado irregular o el peligro de incendio porque se trabaja con un horno a gas para el secado de la tinta.

Lo que realizará esta máquina es un tinturado uniforme del papel, evitando el exceso de tinta y al mismo tiempo se logrará evitar la ruptura del papel por humedad, para el secado se utilizará un horno eléctrico que permite disminuir el riesgo de incendio que actualmente posee el proceso, una vez que el papel tinturado haya pasado por el horno será enrollado automáticamente mediante mecanismos electro-neumáticos, de esta manera el rollo de papel queda listo para pasar a la siguiente etapa del proceso.

La máquina debe tener la capacidad de trabajar con un ancho de papel máximo de 0.9 m, enrollar máximo 3 m de largo y el rollo debe tener un diámetro interno de 32 mm, como se indica en la Figura 1.

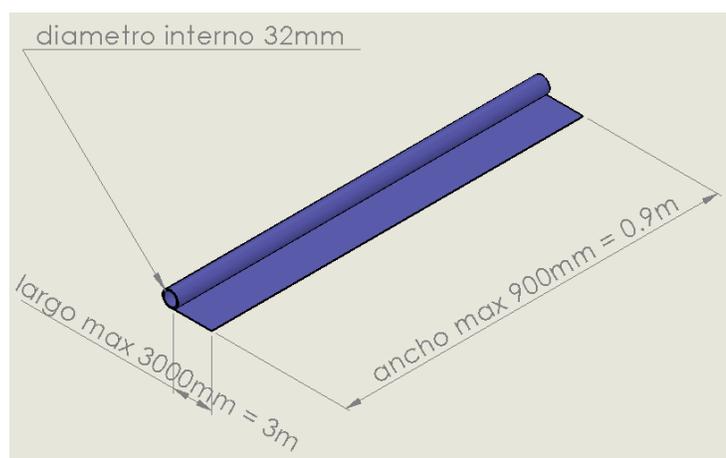


Figura 1. Dimensiones rollo de papel tinturado

1.3 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

Siguiendo sus objetivos institucionales, la empresa auspiciante EMPACMACHINE considera de gran importancia la construcción y diseño de diferentes equipos, dejando de lado la importación de maquinaria extranjera y ofreciendo al mercado nacional equipos de alta calidad y eficiencia.

El diseño de una máquina tinturadora, secadora y enrolladora de papel para la producción de serpentinas abre una nueva área de investigación y producción en la empresa.

Con esta máquina se dará solución a las necesidades planteadas por el cliente, que en este caso es un productor de serpentinas el cual desea mejorar tiempos de producción y calidad en su proceso.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar, simular y programar una máquina tinturadora, secadora y enrolladora de papel para la producción de serpentinas para la empresa EMPACMACHINE CIA. LTDA.

1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Dimensionar y seleccionar los distintos elementos mecánicos, neumáticos, eléctricos y de control.
- Diseñar las distintas piezas que conforman la máquina y realizar los respectivos planos.
- Realizar el programa de control y la interfaz para configurar parámetros.
- Realizar la simulación de la secuencia de funcionamiento de la máquina.
- Realizar el análisis económico de costos de construcción de la máquina.

1.5 ALCANCE

La máquina tinturadora, secadora y enrolladora de papel para la producción de serpentinas tiene aplicación en el amplio campo de la

mecatrónica (mecánica, eléctrica y control) y será desarrollada para cumplir las necesidades específicas del cliente.

Para el diseño se realizará el análisis de las partes principales de la máquina como ejes, motores y cilindros neumáticos.

Se seleccionarán elementos estandarizados como chumaceras, rodamientos, catarinas, cadenas, matrimonios y demás accesorios en base a cálculos.

Con respecto al control se realizará el diseño de un panel eléctrico el cuál acondicionará las señales de entrada y salida, como entradas tendremos fines de carrera, sensores inductivos, termocuplas, encoder, y como salidas estarán los motores, electroválvulas y resistencias eléctricas; todas estas señales serán controladas por un PLC, además tendrá un HMI que se comunicará con el PLC, desde el cual se podrá modificar los parámetros de funcionamiento; también constará con un control independiente de temperatura.

El panel eléctrico constará de variadores de frecuencia, contactores, fuente de alimentación 24 V DC, fusibles y botones industriales.

Se realizará la programación del PLC y se simulará la secuencia de funcionamiento de la máquina; se crearán las ventanas de navegación del HMI, para que interactúen con el programa del PLC.

Se harán los planos mecánicos y eléctricos para su posterior fabricación y se realizará un estudio de costos para determinar el valor de la máquina.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 MÁQUINA DESBOBINADORA

Es una máquina cuya función principal es desbobinar o desenrollar un material a una velocidad generalmente constante, el cual se encuentra enrollado formando una bobina o fleje. Esta máquina está involucrada en procesos industriales, en los cuales el desbobinado es necesario para proporcionar el material de alimentación a máquinas bobinadoras.

Si su diseño así lo permite puede ser capaz de acelerar o desacelerar la bobina o fleje de acuerdo con la velocidad de línea requerida, y así mantener la tensión adecuada del material a ser desenrollado durante el proceso que se está realizando. La desbobinadora se ilustra en la Figura 2.



Figura 2. Máquina desbobinadora

Fuente: (EXAPRO, 2015)

2.1.1 TIPOS DE MÁQUINAS DESBOBINADORAS

Las máquinas desbobinadoras utilizadas en la industria se pueden clasificar tomando en cuenta los siguientes aspectos.

- La posición de la bobina respecto a la máquina desbobinadora.
- Por el movimiento de la máquina desbobinadora

2.1.1.1 CLASIFICACIÓN DE ACUERDO A LA POSICIÓN DE LA BOBINA RESPECTO A LA MÁQUINA DESBOBINADORA

Según la posición de la bobina en la máquina desbobinadora, estas se pueden clasificar en horizontales y verticales.

MÁQUINAS DESBOBINADORAS VERTICALES

La máquina desbobinadora vertical es aquella en la cual la bobina está dispuesta en forma vertical. Esta es particularmente eficiente solo en ciertas aplicaciones, además presenta cierta dificultad al momento del desbobinado y especialmente al momento de posicionar la bobina, (Figura 3).



Figura 3. Máquina desbobinadora vertical

Fuente: (bulldog-uk, 2014)

MÁQUINAS DESBOBINADORAS HORIZONTALES

Las máquinas desbobinadoras horizontales son aquellas en las cuales la bobina está dispuesta en forma horizontal, indicada en la Figura 4.

Este tipo de desbobinadora es la más utilizada debido a su gran versatilidad y fácil manejo de las bobinas, ya sea al desbobinar, al realizar el cambio de estas o al posicionarlas y acoplarlas al sistema desbobinador.



Figura 4. Máquina desbobinadora horizontal

Fuente: (ttemsa, 2014)

2.1.1.2 CLASIFICACIÓN DE ACUERDO A LA MOVILIDAD DE LA MÁQUINA DESBOBINADORA

Según la movilidad de la máquina desbobinadora, estas pueden ser fijas o móviles.

MÁQUINAS DESBOBINADORAS FIJAS

Se la puede considerar como la máquina desbobinadora más utilizada, debido a su modo de operación. Este tipo de desbobinadoras mantienen todo su conjunto fijo respecto al piso, mientras realiza su trabajo, la bobina tiene un movimiento de rotación alrededor de su eje axial, más no el desplazamiento transversal con respecto a la máquina, (Figura 5).

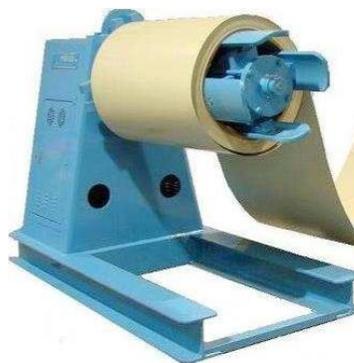


Figura 5. Máquina desbobinadora fija

Fuente: (engagemachinery, 2015)

MÁQUINAS DESBOBINADORAS MÓVILES

En este tipo de desbobinadora toda la máquina en sí se desplaza horizontalmente sobre guías ancladas al piso. Generalmente son utilizadas para alimentar con una misma desbobinadora a varias bobinadoras, (Figura 6).



Figura 6. Máquina desbobinadora móvil

Fuente: (bulldog-uk, 2015)

2.2 ANILINAS

“Anilina, fenilamina o aminobenceno es un compuesto orgánico, líquido ligeramente amarillo de olor característico. No se evapora fácilmente a temperatura ambiente. La anilina es levemente soluble en agua y se disuelve

fácilmente en la mayoría de los solventes orgánicos” Obtenido de (ricotox.weebly.com, 2014).

La anilina es usada para fabricar una amplia variedad de productos como por ejemplo de espuma de poliuretano, productos químicos agrícolas, *pintura sintéticas*, antioxidantes, estabilizadores para la industria del caucho, herbicidas, barnices y explosivos. Obtenido de (ricotox.weebly.com, 2014).

La anilina se produce industrialmente en dos pasos, a partir del benceno. En un primer paso, se realiza la nitración usando una mezcla de ácido nítrico y ácido sulfúrico concentrados a una temperatura de 50°C a 60°C, lo que genera nitrobenceno. En el segundo paso, el nitrobenceno es hidrogenado a 200°C – 300°C en presencia de varios catalizadores metálicos. Alternativamente, la anilina puede prepararse a partir de fenol y amoníaco.

En la Tabla 1 se presentan las principales propiedades de la anilina y en la Figura 7 su presentación en polvo.

Tabla 1

Propiedades de la Anilina

Nombre	Anilina
Otros nombres	Fenilamina, Aminobenceno
Fórmula semidesarrollada	C ₆ H ₅ NH ₂
Fórmula molecular	C ₆ H ₇ N
Densidad	1021.7 kg/m ³
Masa molar	93.13 g/mol
Punto de fusión	266.35 K (-7 °C)
Punto de ebullición	457.28 K (184 °C)
Solubilidad en agua	3.6 g / 100 mL a 20°C en agua

Fuente: (wikipedia, 2014)



Figura 7. Anilina varios colores

Fuente: (oocities, 2014)

2.3 CILINDRO NEUMÁTICO

Los cilindros neumáticos son unidades que transforman la energía potencial del aire comprimido en energía cinética o en fuerzas prensoras. Básicamente consisten en un recipiente cilíndrico provisto de un émbolo o pistón.

Al introducir un determinado caudal de aire comprimido, éste se expande dentro de la cámara y provoca un desplazamiento lineal. Si se acopla al embolo un vástago rígido, este mecanismo es capaz de empujar algún elemento, o simplemente sujetarlo. La fuerza de empuje es proporcional a la presión del aire y a la superficie del pistón.

2.3.1 CILINDRO DE SIMPLE EFECTO

“Uno de sus movimientos está gobernado por el aire comprimido, mientras que el otro se da por una acción antagonista, generalmente un resorte colocado en el interior del cilindro. Este resorte podrá situarse opcionalmente entre el pistón y tapa delantera (con resorte delantero) o entre el pistón y su tapa trasera (con resorte trasero). Realiza trabajo aprovechable sólo en uno de los dos sentidos, y la fuerza obtenible es algo menor a la que da la expresión $F = P \times A$, pues hay que descontar la fuerza de oposición que ejerce el resorte” Obtenido de (automatica.mex.tl, 2015).

2.3.2 CILINDRO DE DOBLE EFECTO

“El pistón es accionado por el aire comprimido en ambas carreras. Realiza trabajo aprovechable en los dos sentidos de marcha” Obtenido de (automatica.mex.tl, 2015), como se muestra en la Figura 8.

2.3.3 CILINDRO CON DOBLE VÁSTAGO

“Poseen salida de vástago en ambos extremos, lo que ofrece un mejor guiado del conjunto, facilitan el colocado de levas o fines de carrera cuando hay problemas de espacio en la zona de trabajo, y además presentan iguales áreas de pistón a ambos lados” Obtenido de (automatica.mex.tl, 2015).

2.3.4 CILINDRO DE DOBLE PISTÓN O EN TÁNDEM

“Consisten en dos cilindros de doble efecto acoplados en serie con un vástago en común, formando una unidad compacta. Aplicando simultáneamente presión sobre los dos émbolos se obtiene una fuerza de casi el doble de la de un cilindro convencional del mismo diámetro” Obtenido de (automatica.mex.tl, 2015).

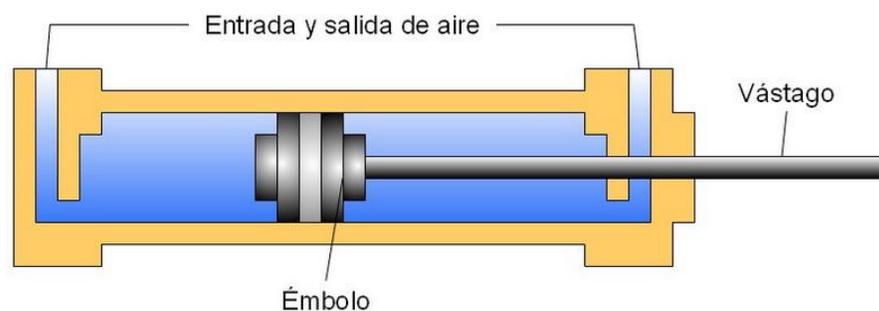


Figura 8. Componentes de un cilindro de doble efecto

Fuente: (Portaleso, 2015)

2.4 MOTORES ELÉCTRICOS

“Se llama motor eléctrico al dispositivo capaz de transformar la energía eléctrica en energía mecánica, es decir, puede producir movimiento al convertir en trabajo la energía eléctrica proveniente de la red o almacenada en un banco de baterías.

Básicamente, un motor está constituido por dos partes, una fija denominada Estator, y otra móvil respecto a esta última denominada Rotor. Ambas están fabricadas en material ferromagnético (chapas magnéticas apiladas), y disponen de una serie de ranuras en las que se alojan los hilos conductores de cobre que forman el devanado eléctrico.

En todo motor eléctrico existen dos tipos de devanados: el inductor, que origina el campo magnético para inducir las tensiones correspondientes en el segundo devanado, que se denomina inducido, puesto que en él aparecen las corrientes eléctricas que producen el par de funcionamiento deseado (torque).

El espacio entre el rotor y el estator es constante y se denomina entrehierro. Por efecto de las intensidades que atraviesan el rotor y el estator; se crean campos magnéticos en el entrehierro. La interacción de estos campos magnéticos con las intensidades que atraviesan los conductores del rotor produce unas fuerzas tangenciales que hacen girar el rotor produciéndose de este modo la energía mecánica” Obtenido de (app.tecsup.edu.pe, 2015).

2.4.1 CLASIFICACIÓN DE LOS MOTORES ELÉCTRICOS

Los motores eléctricos, desde el punto de vista de su utilización industrial, suelen clasificarse en:

2.4.1.1 MOTORES DE CORRIENTE CONTINUA

“Son de gran facilidad para la regulación de velocidad, cambios o inversiones rápidas de la marcha, y sin necesidad de equipos costosos es posible efectuar control automático de torques y velocidades, Figura 9.

Por las ventajas descritas anteriormente se utilizan primordialmente en industrias papeleras, textileras, químicas, siderúrgicas y metalúrgicas. En estos motores, el estator está formado por polos principales y auxiliares excitados por corriente continua, así mismo el rotor se alimenta con corriente continua mediante el colector de delgas y las escobillas” Obtenido de (myslide.es, 2014).

CLASES DE MOTORES DE CORRIENTE CONTINUA

Dependiendo de la forma en que se alimentan los devanados del estator se clasifican:

- *En derivación:* El estator se alimenta con la misma tensión que el inducido.
- *Independiente:* El estator y el inducido se alimentan con fuentes separadas independientes.
- *En serie:* El estator y el inducido se conectan de modo tal que por ellos circule la misma corriente.
- *Compound:* Es una combinación de las conexiones en serie y en derivación. Una representación gráfica de la anterior clasificación se ilustra a continuación en la Figura 9. Obtenido de (ingeborda.com, 2015)

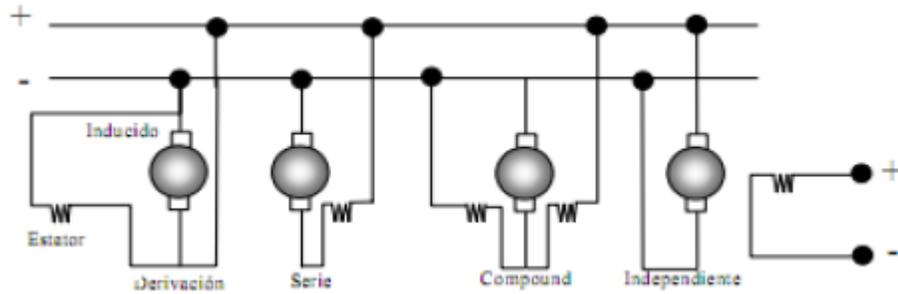


Figura 9. Tipos de motores de corriente continua

Fuente: (Lobosco, 2013)

2.4.1.2 MOTORES DE CORRIENTE ALTERNA

MOTORES ASÍNCRONOS

Los motores asíncronos basan su funcionamiento en la creación de un campo magnético giratorio en el entre hierro, debido a la circulación de corriente alterna trifásica en el estator.

Se clasifican de acuerdo a la forma constructiva del rotor. Dicha clasificación es la siguiente:

- *Jaula de ardilla:* El rotor está compuesto por un conjunto de barras conductoras de cobre unidas en sus extremos por anillos, Figura 10.
- *Rotor bobinado:* El rotor está compuesto por un arrollamiento (devanado) introducido en ranuras similares a las del estator. Los extremos de cada fase se conectan a unos anillos colectores montados sobre el eje, aislados eléctricamente de él.

Dentro del universo de motores eléctricos, el motor jaula de ardilla es el más común y de uso más generalizado por diversas razones:

- Bajo costo
- Bajo mantenimiento
- Fácil de adquirir

- Alto grado de protección
- Pocos componentes

Por carecer de chispas internas, puede instalarse en ambientes de riesgo. Con el avance de la electrónica de potencia, hoy en día es el motor más práctico para realizar aplicaciones en donde se requiere variación de velocidad, llegando incluso a desplazar el motor de corriente continua. Obtenido de (amawebs.com, 2014)



Figura 10. Motores de tipo Jaula de Ardilla

Fuente: (Lobosco, 2013)

CAPÍTULO III

PLANTEAMIENTO DE DISEÑO

3.1 NECESIDADES DEL CLIENTE

Identificar las necesidades del cliente es parte integral de la fase de desarrollo del equipo. Las necesidades del cliente que resulten se usan para guiar al equipo en establecer especificaciones del producto, generar conceptos del producto y seleccionar un concepto del producto para su posterior desarrollo, Obtenido de: (Karl T. Ulrich, 2013)

3.1.1 LA CASA DE LA CALIDAD

La Función de Despliegue de la Calidad (Quality Function Deployment - QFD) o comúnmente conocida como Casa de la Calidad es una representación gráfica para el diseño para la Calidad que busca focalizar el diseño de los productos y servicios y cómo éstos se alinean con las necesidades de los clientes.

La Casa de la Calidad permite la documentación formal del proceso lógico a través de superposición de las matrices donde se traducen las necesidades de los clientes en características específicas de productos y servicios. Esta herramienta permite entre otras cosas entender mejor las prioridades de los clientes y buscar cómo responder de forma innovadora a dichas necesidades, obtenido de: (gestión de la calidad total, 2014)

Esta herramienta consta de los siguientes pasos:

- Identificación de lo que el cliente desea.
- Identificación de como el producto satisfará los deseos del cliente.
- Relación entre los deseos del cliente con los *cómo* del producto.
- Identificación de las relaciones entre los *cómo* de la empresa.
- Desarrollo de la clasificación de la importancia.

- Evaluación de los productos de la competencia.
- Determinación de los atributos técnicos deseables, su desempeño y el desempeño de la competencia frente a estos atributos.
- Esquema de la casa de la calidad.

3.1.1.1 IDENTIFICACIÓN DE LO QUE EL CLIENTE DESEA

Para tener claro cuáles son los deseos del cliente la empresa EMPACMACHINE tuvo una reunión con el mismo, la cual dio como resultado los siguientes requerimientos.

- Aumentar la producción de serpentinas en un 50%.
- Disminuir tiempos de producción
- Mejorar el color del papel.
- Que el proceso sea automático.
- Disminuir el desperdicio de materia prima.
- Que el proceso sea regulable.

3.1.1.2 IDENTIFICACIÓN DE COMO EL PRODUCTO SATISFARÁ LOS DESEOS DEL CLIENTE

A continuación se plantea de forma general de qué manera se va a satisfacer las necesidades del cliente.

- Máquina automática controlada por PLC.
- Rodillo de tinturado suave.
- Máquina regulable para varios tamaños de producto final.

3.1.1.3 RELACIÓN ENTRE LOS DESEOS DEL CLIENTE CON LOS CÓMO DEL PRODUCTO

En este paso se especifican *cómo* las opciones planteadas darán solución a los deseos del cliente.

- Como la máquina va a ser controlada por un PLC cubrimos las necesidades de que el proceso sea automático, aumentamos la producción, bajamos tiempos y disminuimos el desperdicio de materia prima.
- Con el rodillo de tinturado suave logramos una mayor absorción de tinta para tener un mejor tinturado del papel.
- La máquina tendrá un rango de trabajo en el cual se podrá regular el ancho del papel y el largo a ser enrollado.

3.1.1.4 IDENTIFICACIÓN DE LAS RELACIONES ENTRE LOS CÓMO DE LA EMPRESA

Aquí se justifica la capacidad que tiene la empresa EMPACMACHINE para cumplir y realizar el trabajo al que se compromete.

- La empresa está en la capacidad de crear un máquina ya que posee las herramientas necesarias y personal capacitado en todo lo referente a metalmecánica, electricidad y control.
- En caso de no cubrir alguna área posee los contactos necesarios para solventarlos.

3.1.1.5 DESARROLLO DE LA CLASIFICACIÓN DE LA IMPORTANCIA

A continuación se determina un ranking de importancia de los deseos del cliente.

- Aumentar la producción de serpentinas en un 50%. (**primera**)
- Disminuir tiempos de producción. (**tercera**)
- Mejorar el color del papel. (**quinta**)
- Que el proceso sea automático. (**segunda**)
- Disminuir el desperdicio de materia prima. (**sexta**)
- Que el proceso sea regulable. (**cuarta**)

3.1.1.6 EVALUACIÓN DE LOS PRODUCTOS DE LA COMPETENCIA

La competencia no posee ninguna máquina que realice este proceso ya que es única es su tipo, por lo tanto no se realizó este paso.

3.1.1.7 DETERMINACIÓN DE LOS ATRIBUTOS TÉCNICOS DESEABLES, SU DESEMPEÑO Y EL DESEMPEÑO DE LA COMPETENCIA FRENTE A ESTOS ATRIBUTOS

No se puede realizar esta comparación porque la competencia no posee máquinas de este tipo.

3.1.1.8 ESQUEMA DE LA CASA DE LA CALIDAD

En la Figura 11 se observa cómo la empresa EMPACMACHINE solucionará las necesidades del cliente y la capacidad que esta tiene en desarrollarlas, también está incluido el rango de importancia de las necesidades del cliente.

Para la presente gráfica se ha determinado los siguientes valores:

☆☆☆ Relación alta

☆☆ Relación media

☆ Relación baja

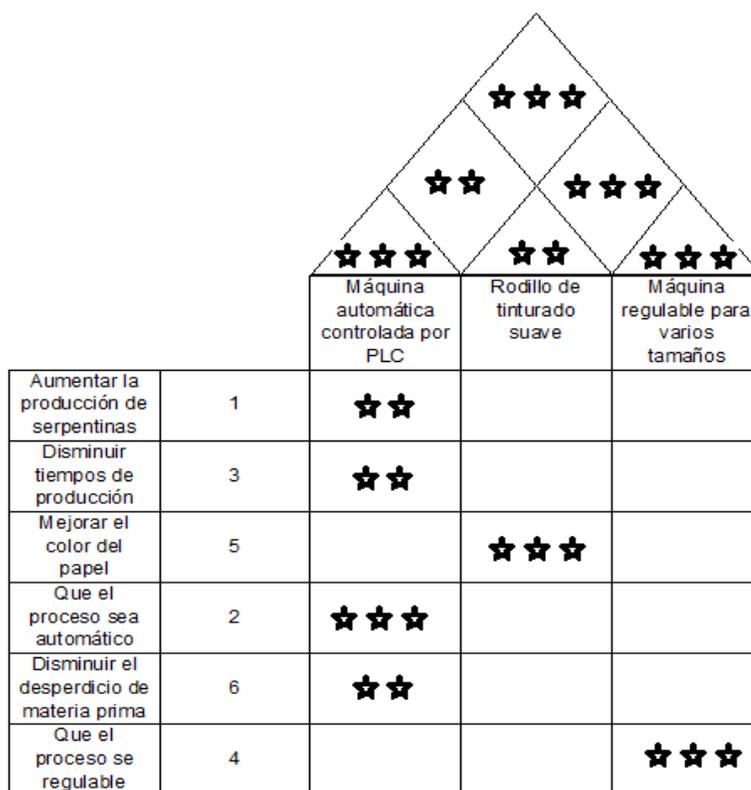


Figura 11. Esquema Casa de la Calidad

3.2 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LAS SOLUCIONES PLANTEADAS

A continuación se explica detalladamente cómo se desarrollarán las soluciones planteadas.

3.2.1 MÁQUINA AUTOMÁTICA CONTROLADA POR PLC

La máquina constará de pistones neumáticos que serán pilotados por electroválvulas 5/2, también tendrá motores trifásicos y resistencias eléctricas. Todos los actuadores tendrán sus respectivos sensores y serán controlados por un tablero eléctrico el cuál constará de relés, variadores de frecuencia, fusibles, fuente, interruptores, pulsadores y tendrá como cerebro un PLC. Todo este sistema será para una red eléctrica trifásica.

3.2.2 RODILLO DE TINTURADO SUAVE

Una vez que se hayan determinado las dimensiones del rodillo de tinturado se le realizará un proceso de vulcanizado para una dureza de 50 shore con un espesor de 1 cm, está es una dureza intermedia la cual va a permitir que la tinta sea absorbida por el rodillo y que al momento de ejercer presión sobre este, el mismo no se deforme.

3.2.3 MÁQUINA REGULABLE PARA VARIOS TAMAÑOS

La máquina constará con un programa que permita seleccionar el largo de papel que se desea que sea enrollado, este rango ira entre 1 m - 3 m como mínimo y máximo respectivamente, estos valores serán modificados en la pantalla de interfaz de usuario. Para saber el largo del papel que está siendo enrollado se utilizará un encoder como sensor.

3.3 NECESIDADES ESPECÍFICAS DEL CLIENTE

- La máquina debe tener la capacidad para trabajar un ***ancho máximo de papel de 900 mm.***
- La máquina debe tener la capacidad máxima para hacer ***rollos de 300 mm de largo.***
- La producción artesanal actual es de 600 rollos de papel tinturado en 8 horas, se requiere una producción de ***900 rollos en el mismo tiempo (50% de aumento en producción).***
- Durante cada puesta en marcha de la máquina se realizará ***rollos de un solo color.***
- El ***largo de la máquina*** no debe superar los ***6 m de largo.***

3.4 SISTEMAS NECESARIOS

La máquina tinturadora, secadora y enrolladora de papel para la producción de serpentinas consta de sistemas mecánicos que le permiten cumplir con sus especificaciones de trabajo de una manera eficiente y segura.

Los sistemas necesarios para esta máquina son los siguientes:

- Sistema de dosificación de tubos para enrollar
- Sistema de desbobinado de papel
- Sistema de pintado
- Sistema de secado
- Sistema de corte
- Sistema de enrollado
- Sistema de expulsión

3.5 SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA DE DISEÑO

La selección de las alternativas de diseño se las realizará mediante una evaluación de distintos sistemas existentes en la industria para con estos poder dar la mejor solución a las necesidades presentes en cada etapa del proceso y de la máquina.

De esta manera se hará una selección individual y justificada de los más importantes sistemas que componen la máquina para finalmente unirlos y obtener el diseño tentativo de la máquina con el cual se entrará directamente a lo correspondiente con el diseño a detalle.

3.5.1 MÉTODO DE EVALUACIÓN

La mayor parte de las veces, para decidir entre diversas soluciones (especialmente en la etapa de diseño conceptual) basta conocer el orden de preferencia de su evaluación global. Es por ello que se recomienda el *método ordinal corregido de criterios ponderados* que, sin la necesidad de evaluar los parámetros de cada propiedad y si tener que estimar numéricamente el peso de cada criterio, permite obtener resultados globales suficientemente significativos.

Se basa en unas tablas donde cada criterio (o solución, para determinado criterio) se confronta con los restantes criterios (o soluciones) y se asignan los valores siguientes. Obtenido de: (Romeva, 2010)

- 1 si el criterio (o solución) de las filas es superior o mejor que el de las columnas.
- 0.5 si el criterio (o solución) de las filas es igual al de las columnas.
- 0 si el criterio (o solución) de las filas es inferior o peor que el de las columnas.

En la Tabla 2 se indica un ejemplo de este método.

Tabla 2

Ejemplo para el método ordinal corregido de criterios ponderados

<i>solución B > solución A = solución C > solución D > solución E</i>							
Peso	<i>soluc. A</i>	<i>soluc. B</i>	<i>soluc. C</i>	<i>soluc. D</i>	<i>soluc. E</i>	$\Sigma+1$	pondera.
<i>solución A</i>		0	0,5	1	1	3,5	0,233
<i>solución B</i>	1		1	1	1	5	0,333
<i>solución C</i>	0,5	0		1	1	3,5	0,233
<i>solución D</i>	0	0	0		1	2	0,133
<i>solución E</i>	0	0	0	0		1	0,066
					suma	15	1

Fuente: (Romeva, 2010)

Luego para cada criterio se suman los valores asignados en relación a los criterios restantes, a este valor se le añade una unidad con el fin de evitar

que el criterio o solución menos favorable tenga una valoración nula, después en otra columna se calculan los valores ponderados para cada criterio.

Finalmente la evaluación total para cada solución resulta de la suma de productos de los pesos específicos de cada solución por el peso específico de cada criterio.

3.5.2 CRITERIOS DE EVALUACIÓN

Los criterios de evaluación fueron determinados por la empresa EMPACMACHINE luego de haber llegado a un convenio con el cliente solicitante de la máquina.

Los criterios de evaluación son los siguientes:

- Costo
- Funcionalidad
- Facilidad de montaje
- Facilidad de operación
- Mantenimiento

3.5.2.1 COSTO

Es uno de los criterios más influyentes al momento de seleccionar una alternativa puesto que la máquina a diseñar debe tener un costo final lo más bajo que sea posible.

Al hablar de costo se debe entender como el costo de fabricación y de adquisición de elementos, accesorios y materia prima que permitirán construir la máquina.

Se debe procurar buscar el equilibrio entre economía y calidad, si se escatima los costos demasiado para abaratar el producto se debe tener en cuenta que del mismo modo disminuirá la calidad de la máquina y su tiempo de vida útil.

3.5.2.2 FUNCIONALIDAD

Es importante la funcionalidad de un sistema para el buen desempeño de la máquina y por tanto del éxito del diseño. Se entiende por funcionalidad a la facilidad y rapidez con que un determinado sistema permite realizar una operación, y precisamente esto se considera en su valoración.

3.5.2.3 FACILIDAD DE MONTAJE

Este se refiere a la facilidad con que se puede montar un sistema o elemento funcional de la máquina, entendiéndose como tal, al rápido ensamblaje de todos sus componentes. También esto implica facilidad en el caso de desmontar dichos sistemas para su mantenimiento o para la reposición de piezas defectuosas.

La facilidad de montaje influye directamente en el tiempo de armado o ensamblaje de la máquina, puesto que esta está formada de varios sistemas los cuales a su vez están compuestos por varias piezas y elementos.

3.5.2.4 FACILIDAD DE OPERACIÓN

La facilidad de operación tiene que ver directamente con el trabajo que realiza el operador de la máquina. En el caso de esta máquina dicho trabajo se refiere a la realimentación de los tubos en los cuales será enrollado el papel, a retirar los rollos de papel finalizados de los tubos de enrollado y a supervisar que el nivel de tinta sea el adecuado.

3.5.2.5 MANTENIMIENTO

Se refiere especialmente a la facilidad con que se puede realizar el mantenimiento de la máquina o de sus sistemas. Este criterio es muy importante puesto que del correcto mantenimiento que se realice a la máquina o sus sistemas dependerá la vida útil de esta. Entendiéndose por mantenimiento al conjunto de acciones dirigidas fundamentalmente a la detección y corrección de las causas que generan el desgaste y que conducen a la falla de la máquina

3.5.3 VALORACIÓN DE LOS SISTEMAS

A continuación se procede a realizar la valoración de los siguientes sistemas:

- Sistema de pintado
- Sistema de desbobinado de papel

3.5.3.1 VALORACIÓN DEL SISTEMA DE PINTADO

Las alternativas de solución para este sistema son las siguientes:

- Solución A: Inyección de tinta
- Solución B: Impresión láser
- Solución C: Tinturado con anilina

SOLUCIÓN A: *INYECCIÓN DE TINTA*

El sistema de inyección es un conjunto de tanques externos, que conectados a los cartuchos de la impresora, por medio de mangueras suministran tinta continuamente a los mismos.

- *Ventajas:* Permite impresión de gran calidad.
- *Desventajas:* Difícil montaje para la aplicación requerida, el costo viene a ser muy elevado para los niveles de producción requeridos.

SOLUCIÓN B: *IMPRESIÓN LÁSER*

Esta técnica permite realizar impresiones de alta calidad, el dispositivo de impresión consta de un tambor fotoconductor unido a un dispositivo de tóner un haz de láser que es modulado y proyectado a través de un disco especular hacia el tambor fotoconductor.

- *Ventajas:* Permite impresión de alta calidad.
- *Desventajas:* Costo muy alto, tecnología muy complicada de adaptar a la máquina, costo de mantenimiento muy elevado.

SOLUCIÓN C: TINTURADO CON ANILINA

La anilina es un colorante en polvo que se usa para teñir ropa y hay de distintos colores, se disuelve en agua

- *Ventajas:* Costo muy bajo, de fácil accesibilidad, de fácil manipulación.
- *Desventajas:* Calidad de color medio.

A partir de esta información, se procede a realizar la valoración de las diferentes soluciones para el sistema de pintado y en la Tabla 3 se indican los pesos específicos de los criterios de evaluación.

Tabla 3

Evaluación del peso específico de cada criterio para el sistema de pintado

Criterio	Costo	Func.	F. Mont.	F. Ope.	Mant.	$\sum + 1$	Pondera.
Costo	-	1	1	1	1	5	0.33
Func.	0	-	0.5	0.5	1	3	0.20
F. Mont.	0	0.5	-	0	0.5	2	0.13
F. Ope.	0	0.5	1	-	1	3.5	0.23
Mant.	0	0	0.5	0	-	1.5	0.10
					Suma	15	1

A continuación en la Tabla 4 se realiza la evaluación de los pesos específicos de las distintas soluciones para cada criterio.

Tabla 4

Evaluación del peso específico de cada criterio para el sistema de pintado

	Solución A	Solución B	Solución C	$\sum + 1$	Pondera.
Criterio de Costo					
Solución A	-	1	0	2	0.33
Solución B	0	-	0	1	0.17
Solución C	1	1	-	3	0.5
			Suma	6	1
Criterio de Funcionalidad					
Solución A	-	0.5	0.5	2	0.33
Solución B	0.5	-	0.5	2	0.33
Solución C	0.5	0.5	-	2	0.33
			Suma	6	1
Criterio de Fácil Montaje					
Solución A	-	0.5	0	1.5	0.25
Solución B	0.5	-	0	1.5	0.25
Solución C	1	1	-	3	0.5
			Suma	6	1
Criterio de Fácil Operación					
Solución A	-	0.5	0	1.5	0.25
Solución B	0.5	-	0	1.5	0.25
Solución C	1	1	-	3	0.5
			Suma	6	1
Criterio de Mantenimiento					
Solución A	-	0.5	0	1.5	0.25
Solución B	0.5	-	0	1.5	0.25
Solución C	1	1	-	3	0.5
			Suma	6	1

Se procede a realizar el cálculo de la tabla de conclusiones para lo cual se suman los productos de los pesos específicos de cada solución por el peso específico de cada criterio. En la Tabla 5 se indica el resultado de dichos productos.

Tabla 5

Conclusión de soluciones para el sistema de pintado

	Costo	Func.	F. Mon.	F. Ope.	Mant.	\sum	Priori
Sol. A	0.33*0.33	0.33*0.20	0.25*0.13	0.25*0.23	0.25*0.10	0.29	2
Sol. B	0.17*0.33	0.33*0.20	0.25*0.13	0.25*0.23	0.25*0.10	0.24	3
Sol. C	0.50*0.33	0.33*0.20	0.50*0.13	0.5*0.23	0.50*0.10	0.46	1

Como conclusión de este análisis se ha determinado que la mejor solución para el sistema de pintado es la **solución C (tinturado con anilina)** con un valor de **0.46**, el cual será parte del diseño de la máquina.

3.5.3.2 VALORACIÓN DEL SISTEMA DE DESBOBINADO DE PAPEL

Las alternativas de solución para este sistema son las siguientes:

- Solución A: Desbobinador horizontal fijo
- Solución B: Desbobinador horizontal móvil
- Solución C: Desbobinador vertical

SOLUCIÓN A: *DESBOBINADOR HORIZONTAL FIJO*

Este sistema es el más utilizado en la industria debido a su fácil manejo al momento de desbobinar como para realizar la realimentación del rollo de papel.

- *Ventajas:* Fácil manejo, óptimo funcionamiento, bajo costo, fácil mantenimiento.
- *Desventajas:* Debe tener un sistema de frenado.

SOLUCIÓN B: *DESBOBINADOR HORIZONTAL MOVIL*

Este sistema es utilizado cuando se necesita alimentar varias máquinas bobinadoras.

- *Ventajas:* Buen funcionamiento, fácil cambio de rollo de papel.
- *Desventajas:* Costoso, debe tener un sistema de frenado.

SOLUCIÓN C: *DESBOBINADOR VERTICAL*

Este sistema es poco eficiente y se lo utiliza en muy pocas aplicaciones, además el cambio de rollo de papel es dificultoso.

- *Ventajas:* Útil en aplicaciones especiales.
- *Desventajas:* Costoso, difícil cambio de rollo, poco eficiente en la mayoría de aplicaciones.

Como se realizó para el caso anterior (sistema de pintado) determinaremos la valoración de las distintas soluciones planteadas para el sistema de desbobinado para lo cual determinamos la Tabla 6 con el peso específico de cada criterio para el sistema de desbobinado.

Tabla 6

Evaluación del peso específico de cada criterio para el sistema de desbobinado

Criterio	Costo	Func.	F. Mont.	F. Ope.	Mant.	$\sum + 1$	Pondera.
Costo	-	1	1	1	1	5	0.33
Func.	0	-	0.5	0.5	1	3	0.20
F. Mont.	0	0.5	-	0	0.5	2	0.13
F. Ope.	0	0.5	1	-	1	3.5	0.23
Mant.	0	0	0.5	0	-	1.5	0.10
					Suma	15	1

Continuando con el proceso se realiza la evaluación de los pesos específicos de las distintas soluciones para cada criterio, Tabla 7.

Tabla 7

Evaluación del peso específico de cada criterio para el sistema de desbobinado

	Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma + 1$	Pondera.
Criterio de Costo					
Solución A	-	1	1	3	0.50
Solución B	0	-	1	2	0.33
Solución C	0	0	-	1	0.17
	Suma			6	1
Criterio de Funcionalidad					
Solución A	-	0.5	1	2.5	0.41
Solución B	0.5	-	1	2.5	0.41
Solución C	0	0	-	1	0.18
Criterio de Fácil Montaje					
Solución A	-	1	1	3	0.50
Solución B	0	-	0	1	0.17
Solución C	0	1	-	2	0.33
	Suma			6	1
Criterio de Fácil Operación					
Solución A	-	1	1	3	0.50
Solución B	0	-	0.5	1.5	0.25
Solución C	0	0.5	-	1.5	0.25
	Suma			6	1
Criterio de Mantenimiento					
Solución A	-	1	1	3	0.50
Solución B	0	-	0	1	0.17
Solución C	0	1	-	2	0.33
	Suma			6	1

Realizamos el cálculo de la tabla de conclusiones (Tabla 8) con la cual se determina cual es la mejor solución para el diseño del sistema de desbobinado.

Tabla 8

Conclusión de soluciones para el sistema de desbobinado

	Costo	Func.	F. Mon.	F. Ope.	Mant.	Σ	Priori
Sol. A	0.50*0.33	0.41*0.20	0.50*0.13	0.50*0.23	0.50*0.10	0.48	1
Sol. B	0.33*0.33	0.41*0.20	0.17*0.13	0.25*0.23	0.17*0.10	0.29	2
Sol. C	0.17*0.33	0.18*0.20	0.33*0.13	0.25*0.23	0.33*0.10	0.23	3

Después del análisis realizado se ha llegado a la conclusión que para el sistema de desbobinado de papel la mejor opción es la ***solución A (desbobinador horizontal fijo)*** con un valor de **0.48**.

3.6 ALTERNATIVA DE DISEÑO SELECCIONADA

El prototipo estará constituido de los sistemas que se representan en la Figura 12, en donde están incluidos el sistema de pintado y sistema de desbobinado, que fueron evaluados anteriormente para determinar la mejor solución; además de los sistemas que forman la máquina se indica la secuencia de funcionamiento de la misma.

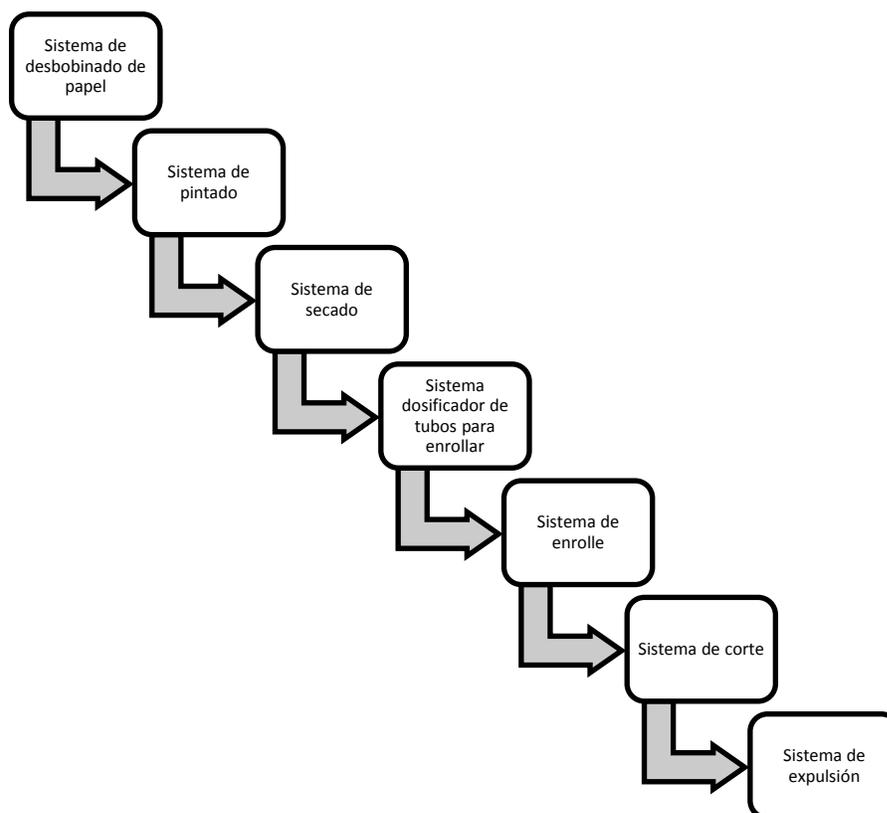


Figura 12. Secuencia del proceso

A continuación se describe brevemente el funcionamiento de cada sistema de la máquina:

3.6.1 SISTEMA DOSIFICADOR DE TUBOS PARA ENROLLAR

Este sistema consta de 2 pistones neumáticos que serán los encargados de permitir el paso de los tubos de enrollado, uno a la vez, los cuales estarán ubicados en una bandeja de almacenamiento. Una vez que los pistones permitan el paso de un tubo, este descenderá por efecto de la gravedad.

El tubo de enrollado es un tubo en el cual se va a bobinar el papel ya tinturado, es necesaria la existencia de este elemento durante todo el proceso para la manipulación del papel, en la Figura 13 y Figura 14 se muestra el sistema y sus partes.

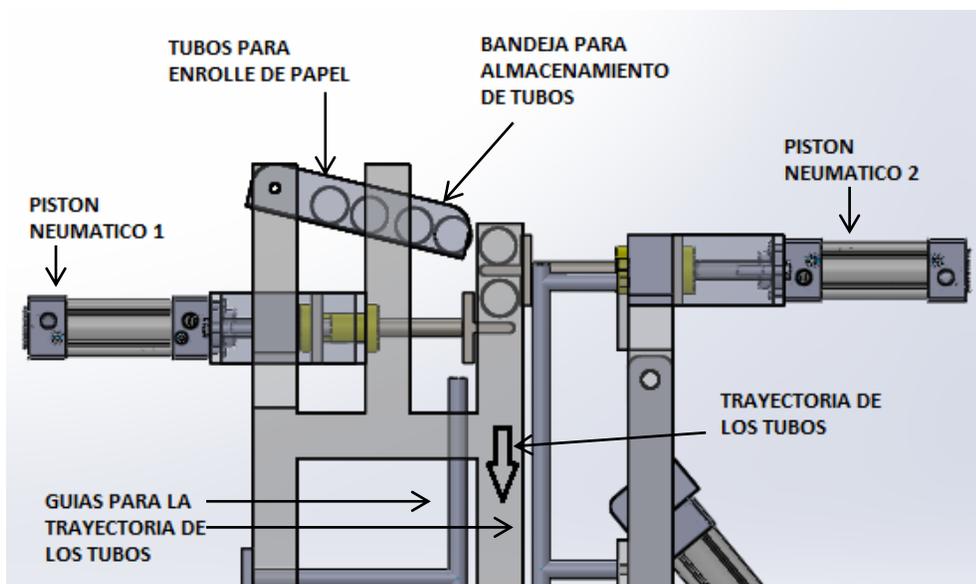


Figura 13. Sistema de dosificación de tubos para enrollar (vista lateral)

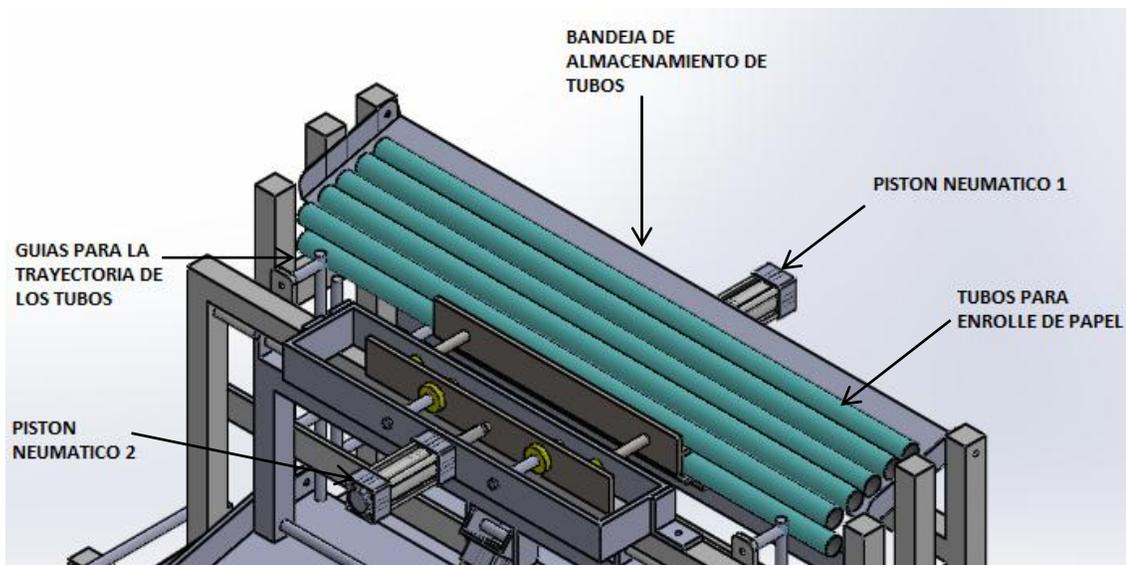


Figura 14. Sistema de dosificación de tubos para enrollar (vista isométrica)

3.6.2 SISTEMA DE DESBOBINADO DE PAPEL

Este sistema consta de una estructura la cual es lo suficientemente robusta para que soporte una bobina de papel de 1 m de diámetro y 0.7 m de ancho con un peso de 370 kg, el desbobinado de la materia prima se da en el momento que la máquina empieza a enrollar el papel ya tinturado.

Una vez que la máquina termine de enrollar el papel tinturado, la bobina de papel (bobina de materia prima) seguirá moviéndose debido a la inercia que posee, para controlar este efecto el sistema de desbobinado consta con un mecanismo de freno (Figura 17) el cual se activará cada que se termine el proceso de enrollado, esto evitará que se pierda la tensión en el papel durante el proceso, en la Figura 15 y Figura 16 se indica el sistema y sus partes:

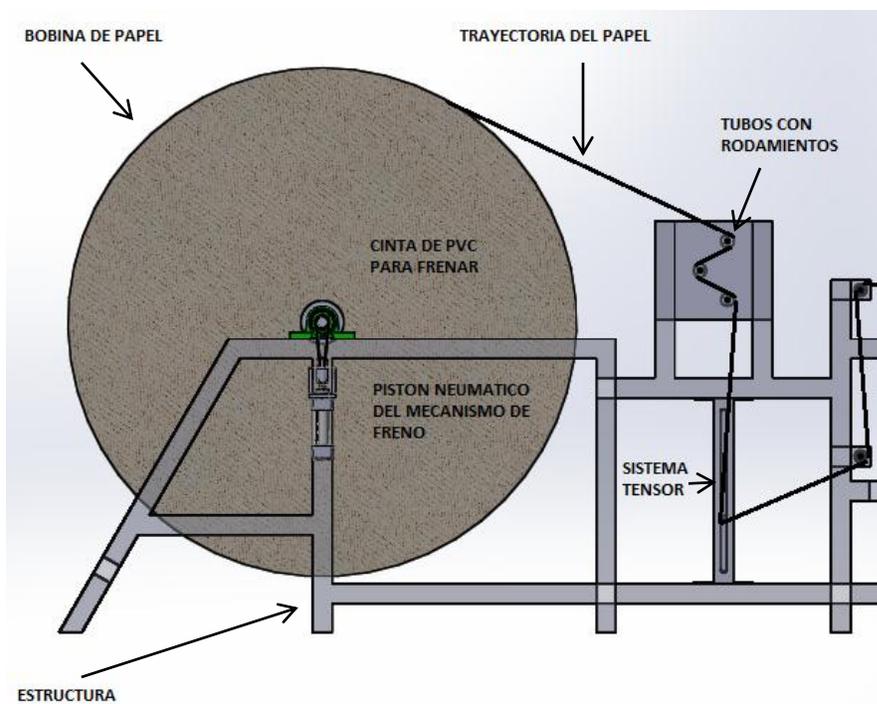


Figura 15. Sistema de desbobinado de papel (vista lateral)

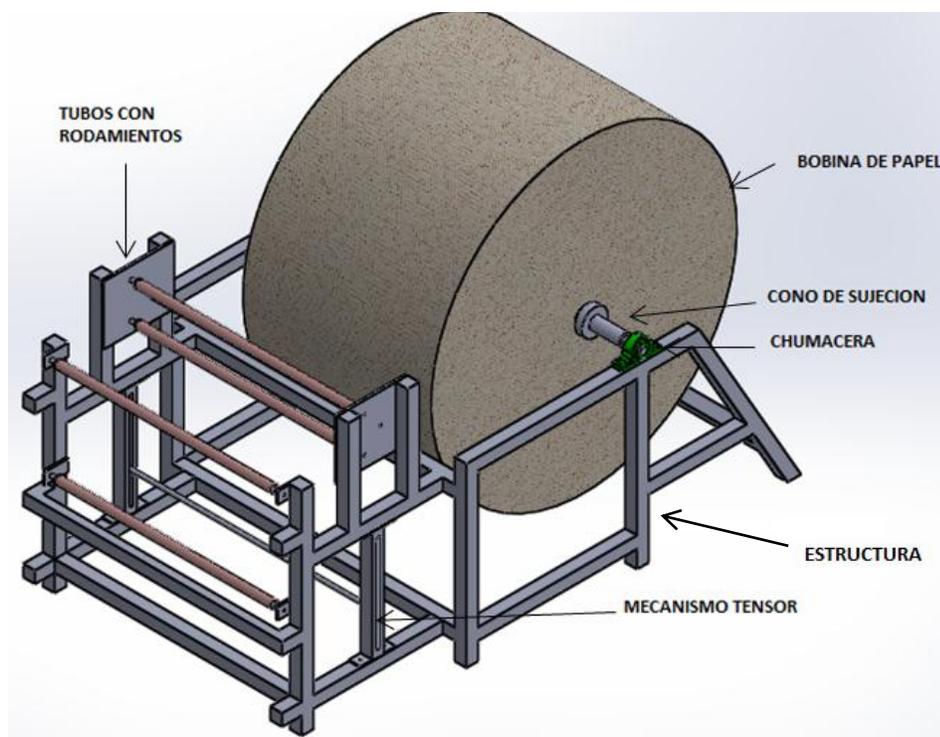


Figura 16. Sistema de desbobinado de papel (vista isométrica)

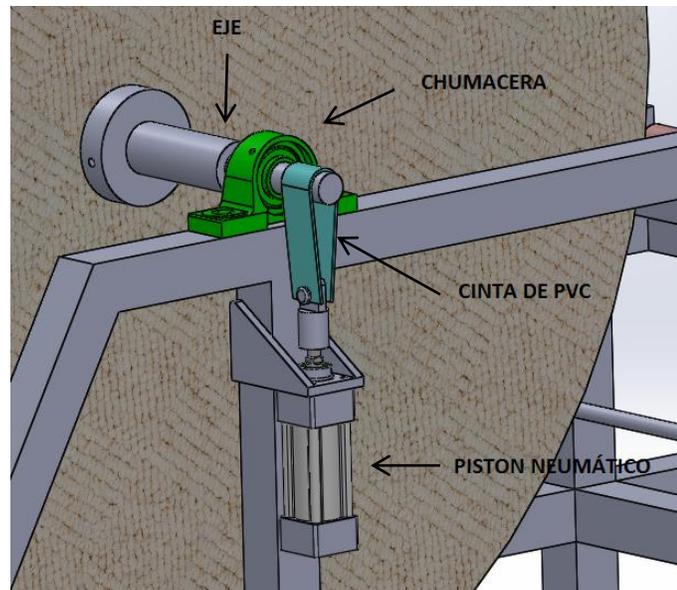


Figura 17. Mecanismo de frenado

3.6.3 SISTEMA DE PINTADO

Este sistema consta de una bandeja en la cual se colocará la mezcla de agua y anilina, en esta irá un eje vulcanizado sumergido hasta la mitad, al momento de pintar otro eje accionado por un pistón neumático descenderá y hará presión al papel sobre el eje vulcanizado empapado de pintura, el motor de enrollado será el encargado de trasladar al papel a través de este sistema, En la Figura 18 y Figura 19 se muestra el sistema y sus respectivas partes.

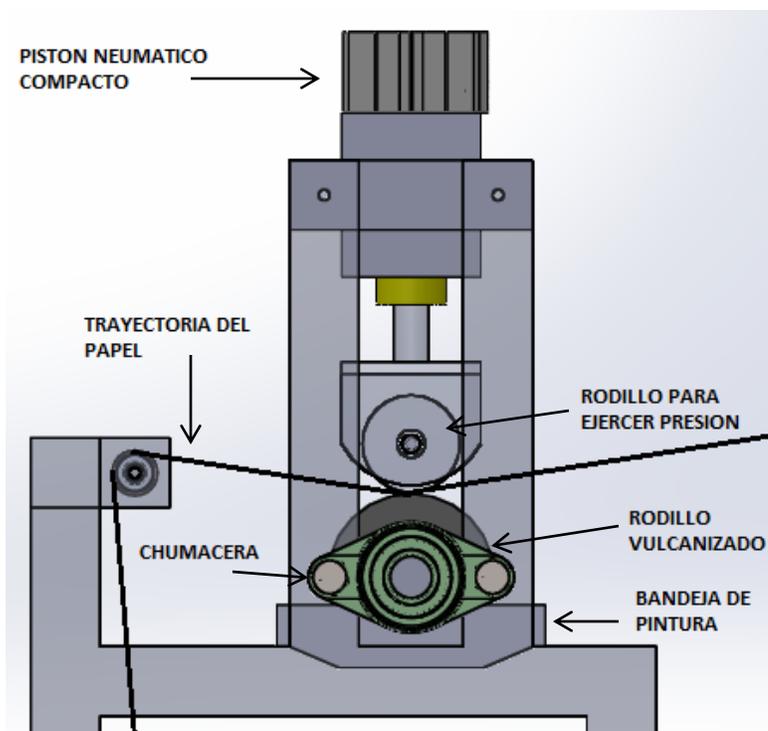


Figura 18. Sistema de tinturado de papel (vista lateral)

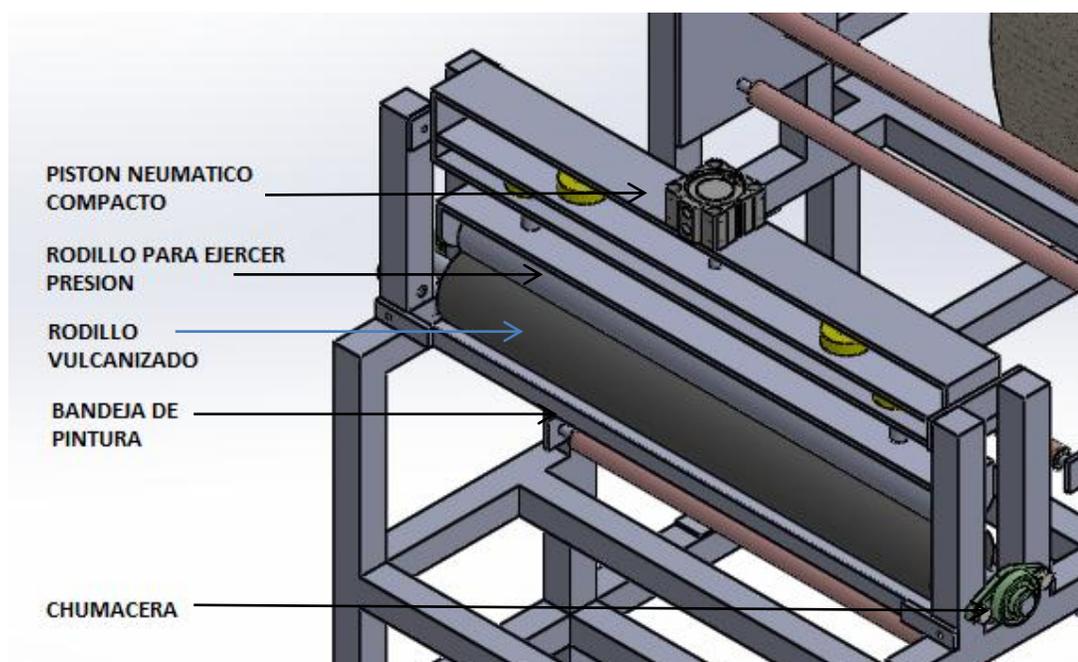


Figura 19. Sistema de tinturado de papel (vista isométrica)

3.6.4 SISTEMA DE SECADO

Este sistema es un horno a base de resistencias eléctricas tipo tubular, por el cual pasará el papel ya tinturado, la función de este es la de secar la tinta fresca del papel, tendrá una termocupla tipo J y un controlador de temperatura independiente para mantener al horno en su rango de trabajo que será de 300 °C, las paredes laterales del horno serán aisladas internamente con lana de vidrio, con esto disminuirán las pérdidas de calor y se proporcionará seguridad al operario, en la Figura 20, Figura 21 y Figura 22 se muestra el horno y sus partes:

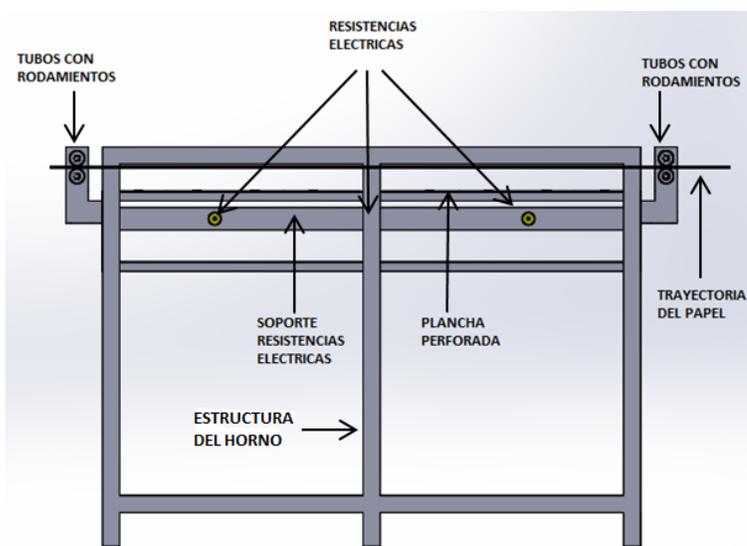


Figura 20. Sistema de secado de papel (vista lateral)

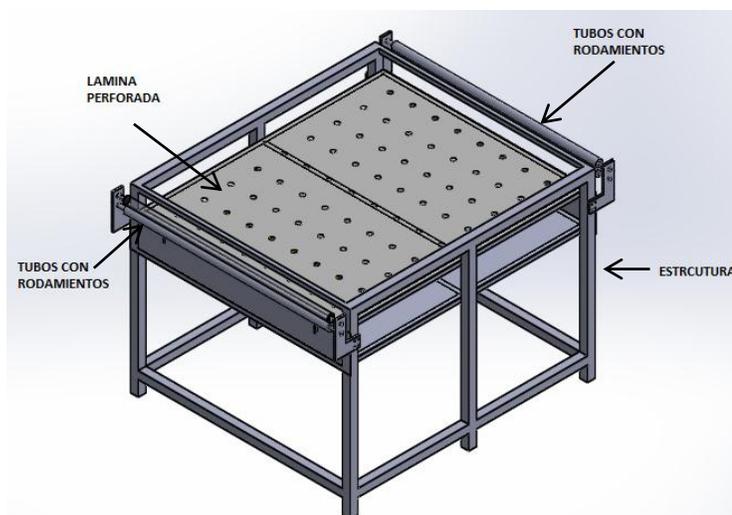


Figura 21. Sistema de secado de papel (vista isométrica)

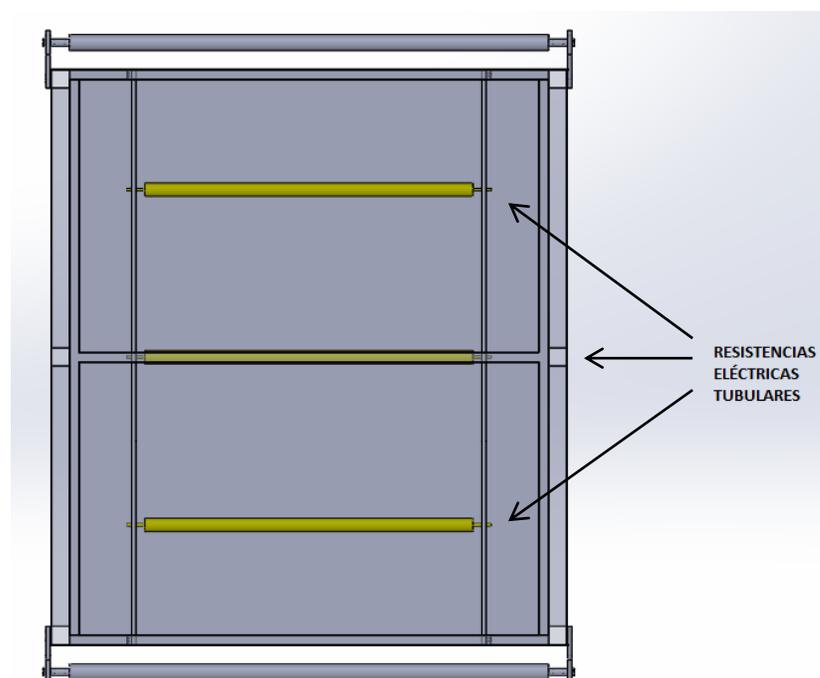


Figura 22. Ubicación de las resistencias tipo tubular (vista superior)

3.6.5 SISTEMA DE ENROLLADO

El papel estará ubicado encima de 2 rodillos los cuales serán movidos por un motor, se coloca el tubo para enrollar encima de estos 2 rodillos, de esta

manera queda atrapado el papel, un sistema de soplado permite que el papel se ajuste al tubo de enrollar y enseguida se extiende el pistón que posee el rodillo para ejercer presión al momento del enrollado, una vez sujeto el papel, el rodillo empieza a rotar generando de esta manera el bobinado de papel en el tubo de enrollar, en la Figura 23 el mecanismo se muestra con el pistón contraído y en la Figura 24 el mecanismo esta con el pistón extendido y en la Figura 25 se indican las partes en una vista isométrica del mecanismo.

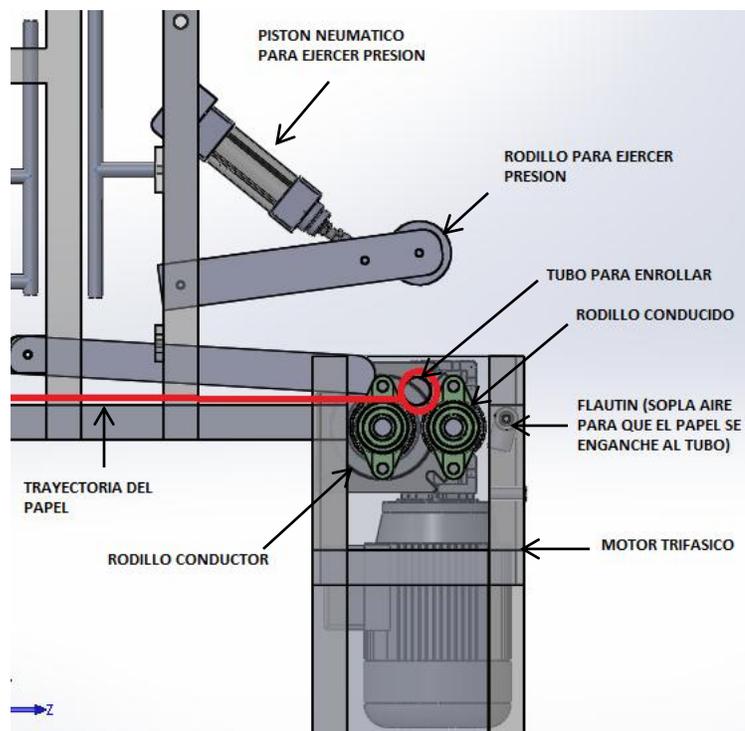


Figura 23. Sistema de enrollado de papel (vista lateral)

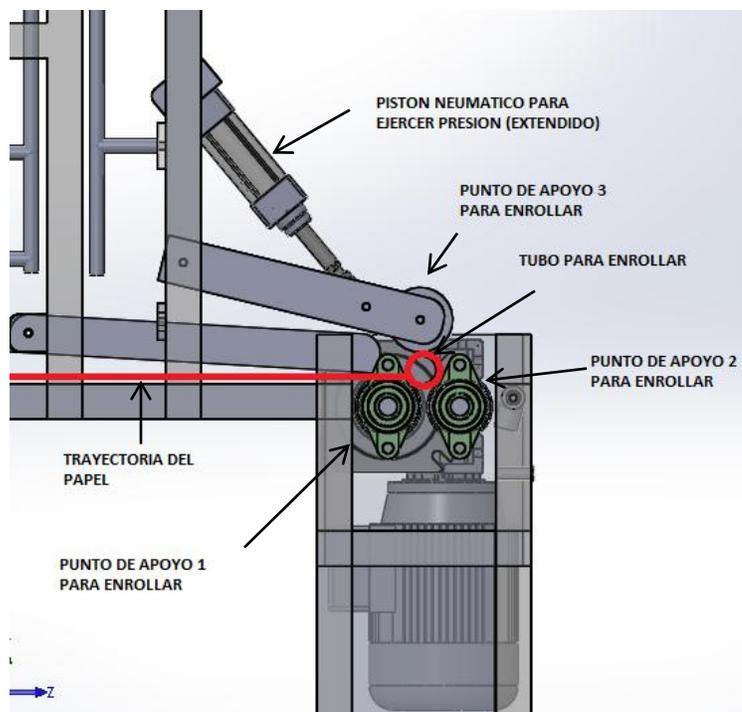


Figura 24. Sistema de enrollado de papel y sus 3 puntos de apoyo (vista lateral)

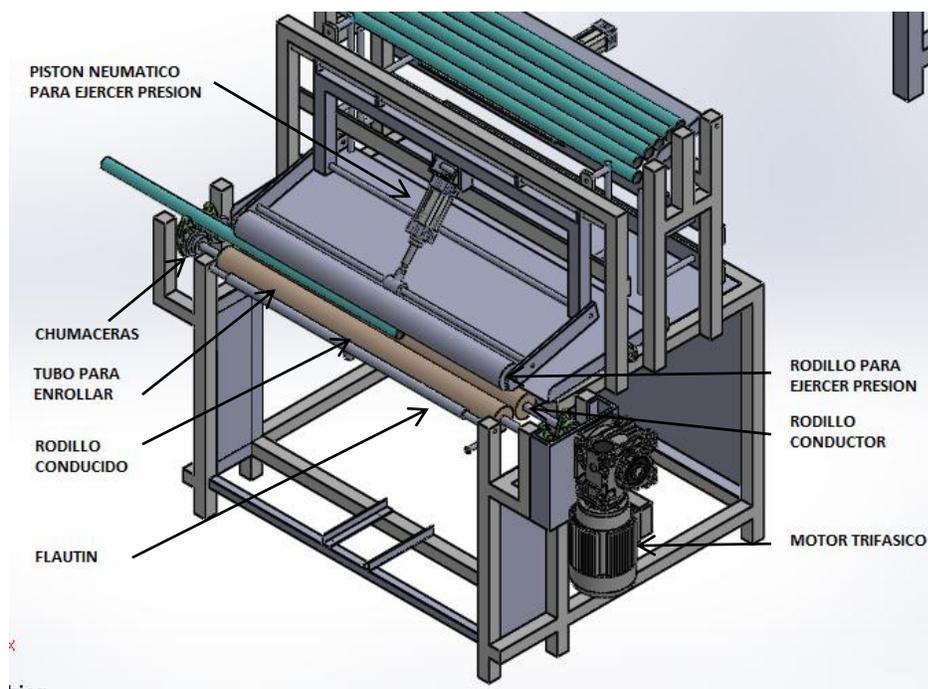


Figura 25. Sistema de enrollado de papel (vista isométrica)

3.6.6 SISTEMA DE EXPULSIÓN

Este sistema consta de un cilindro neumático que empujará al tubo con el papel enrollado fuera de la máquina una vez que haya terminado el proceso. (Figura 26, Figura 27)

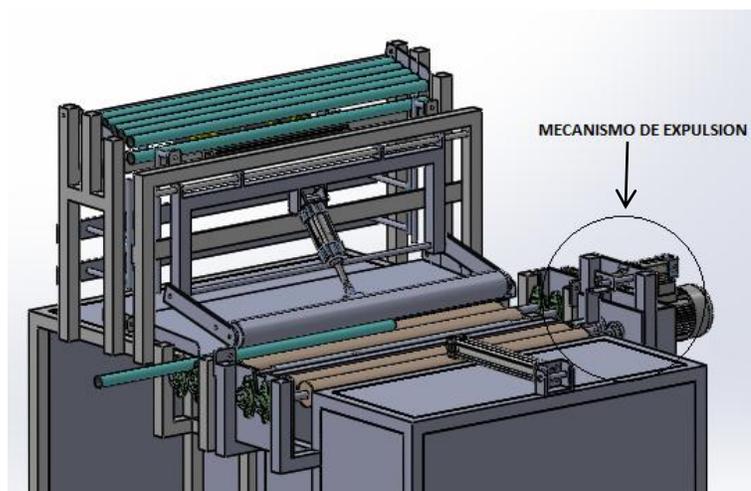


Figura 26. Ubicación del sistema de expulsión

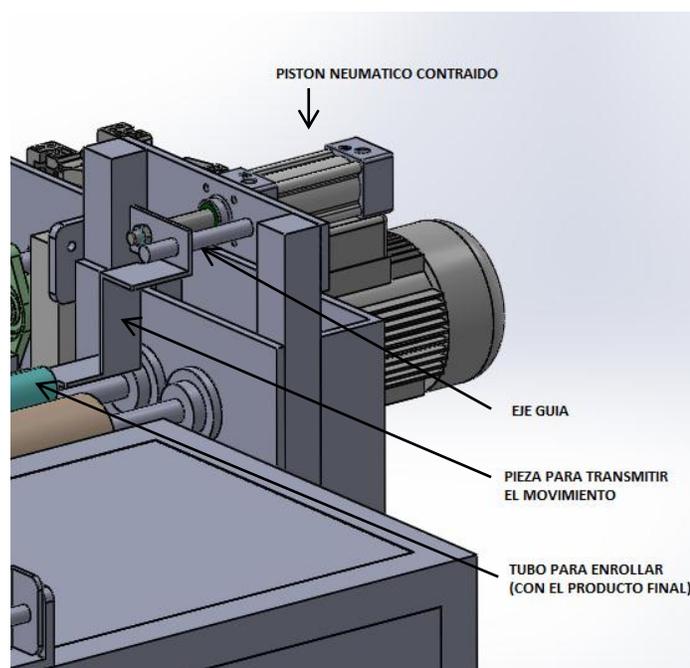


Figura 27. Sistema de expulsión contraído (vista isométrica)

3.6.7 SISTEMA DE CORTE

Este sistema corta el papel tinturado luego que se haya enrollado el largo para el cual fue programada la máquina, el corte lo realizará una cuchilla que irá sujeta en un porta cuchilla y a su vez este porta cuchilla estará sujeto a una cadena, la cadena se mueve mediante un juego de catalinas el cual reduce la velocidad de corte, este sistema tendrá un sensor que detendrá la cadena una vez que haya dado una vuelta la cuchilla, en la Figura 28 se muestra la ubicación del sistema de corte y en la Figura 29 se señalan sus partes.

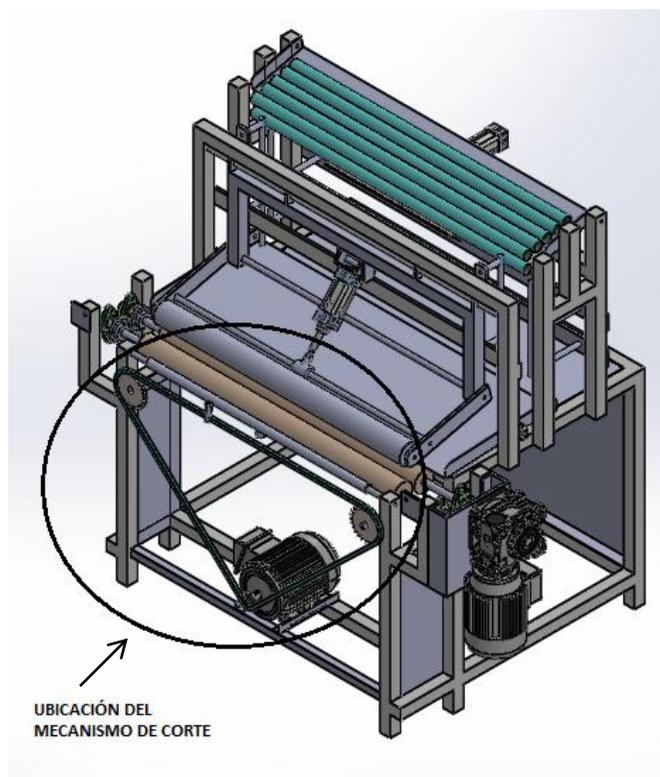


Figura 28. Ubicación del sistema de corte (vista isométrica)

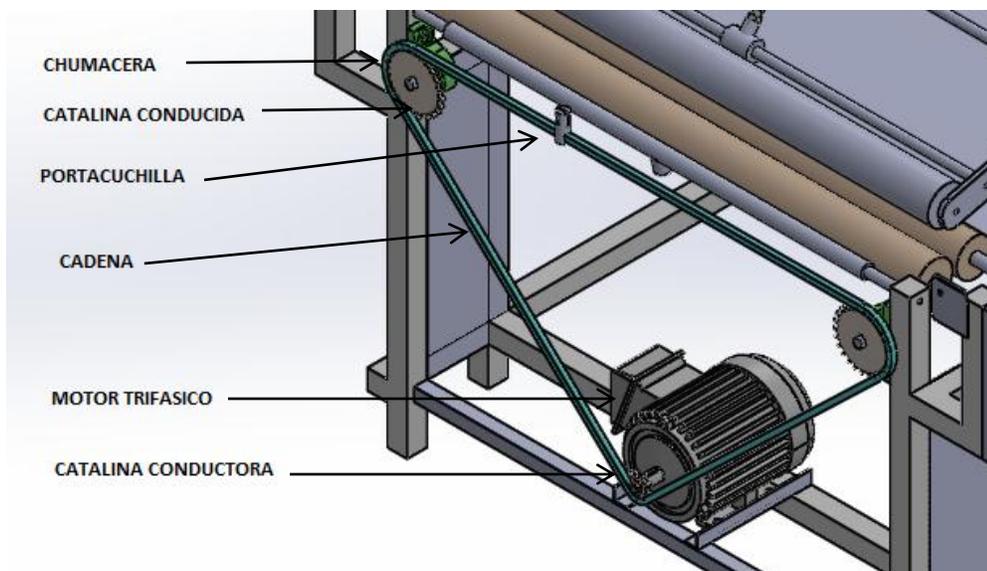


Figura 29. Sistema de corte (vista isométrica)

En la Figura 30 y Figura 31 se muestra a detalle la forma en la que estará sujeto el portacuchilla a la cadena.

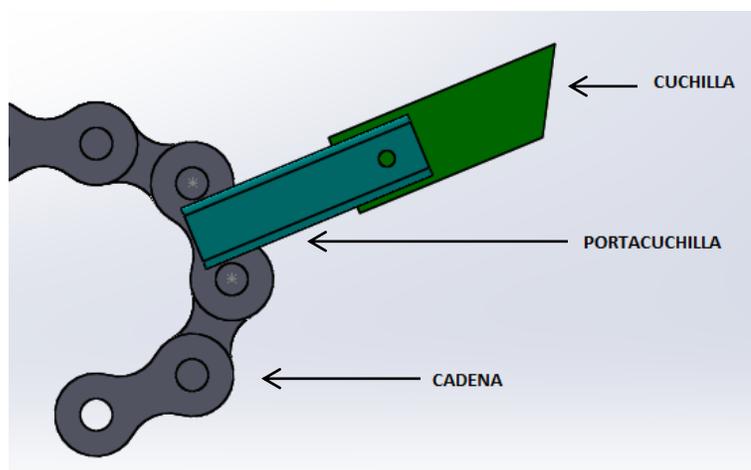


Figura 30. Vista lateral detallada de la cuchilla

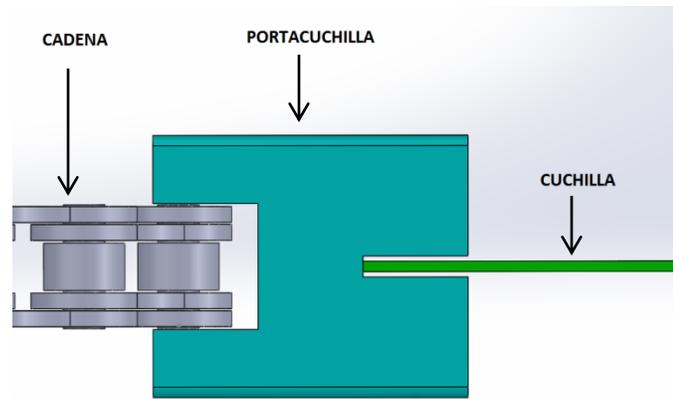


Figura 31. Vista superior detallada de la cuchilla

3.7 SECCIONAMIENTO DE LA MÁQUINA

Una vez descritos los sistemas que componen la máquina, para su mejor comprensión se ha considerado un seccionamiento de esta, para así tener claro la ubicación de cada mecanismo y su función en la misma.

- Sección de materia prima y tinturado
- Sección de secado
- Sección de enrollado y corte

3.7.1 SECCIÓN DE MATERIA PRIMA Y TINTURADO

En esta parte de la máquina estarán los sistemas de dosificado de papel (dosificado de materia prima) y sistema de pintado, (Figura 32, Figura 33)

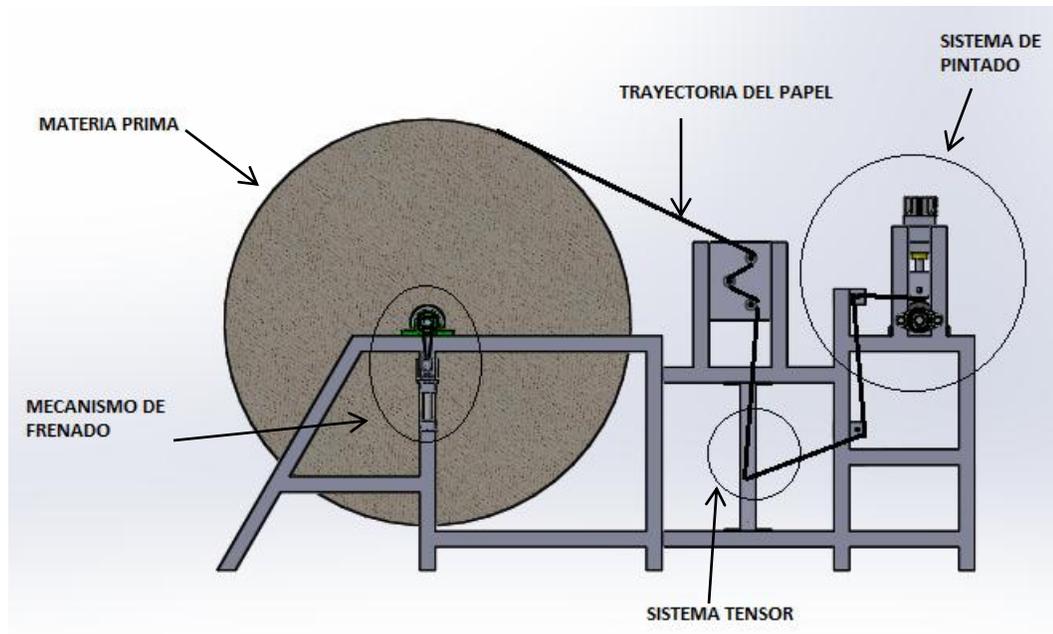


Figura 32. Sección de materia prima y tinturado (vista lateral)

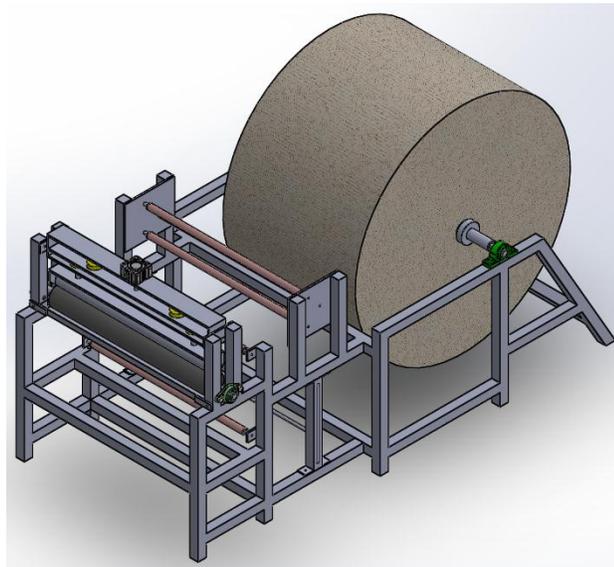


Figura 33. Sección de materia prima y tinturado (vista isométrica)

3.7.2 SECCIÓN DE SECADO

Esta parte de la máquina viene a ser únicamente el horno eléctrico, (Figura 34).



Figura 34. Sección de secado (vista isométrica)

3.7.3 SECCIÓN DE ENROLLE Y CORTE

Esta estructura está constituida por el sistema de dosificación de tubos para enrollado, sistema de enrollado, sistema de corte y sistema de expulsión, (Figura 35, Figura 36).

Además en esta sección se ubicará el tablero eléctrico, neumático y panel de control, que serán los encargados del automatismo de la máquina.

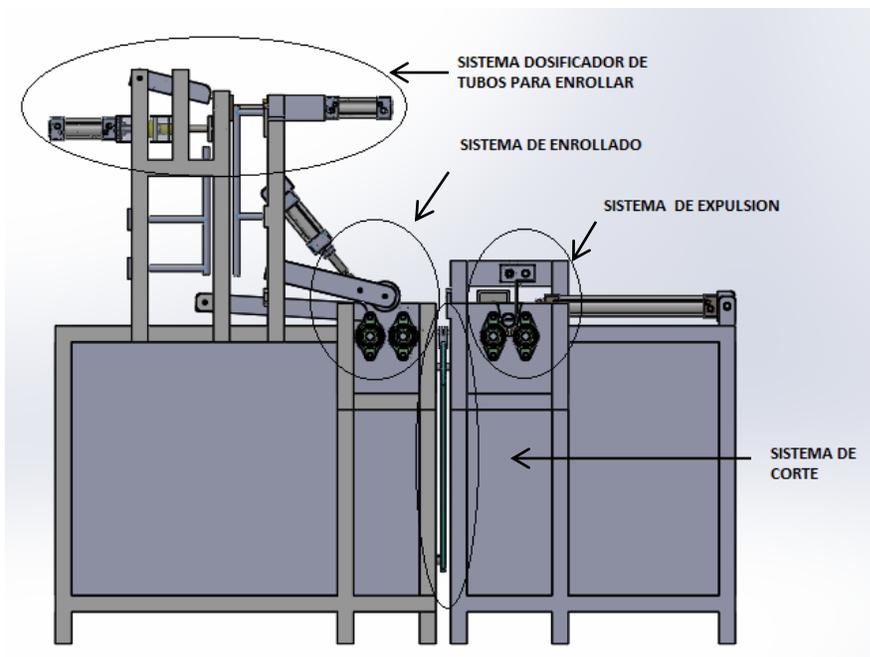


Figura 35. Sección de enrole y corte (vista lateral)

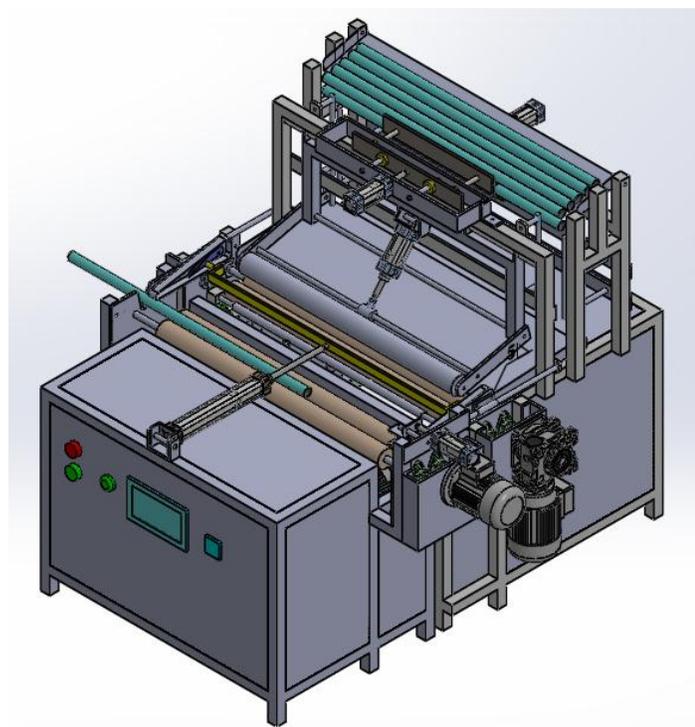


Figura 36. Sección de enrole y corte (vista isométrica)

En la Figura 37 se muestra la máquina completa.

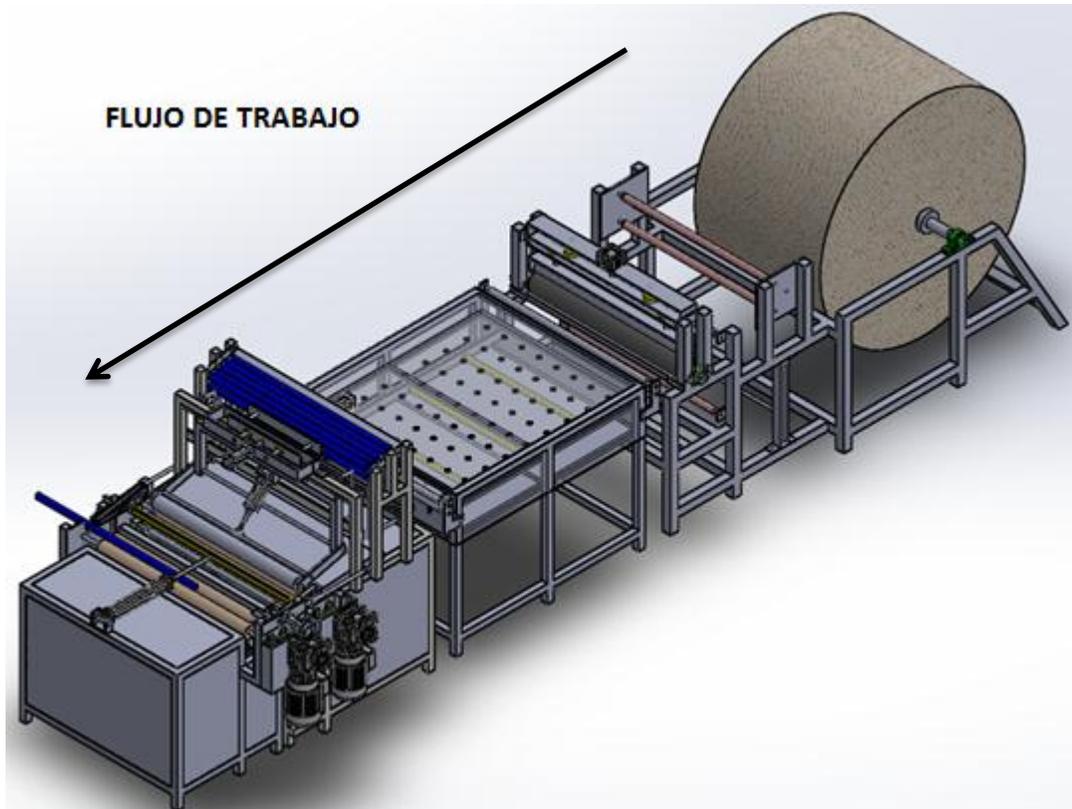


Figura 37. Diseño planteado (vista isométrica)

CAPÍTULO IV

DISEÑO MECÁNICO

En el conjunto mecánico de la máquina tinturadora, secadora y enrolladora de papel existen los siguientes sistemas, cuya función fue descrita en el capítulo anterior:

- Sistema de dosificación de tubos
- Sistema de desbobinado de papel
- Sistema de pintado
- Sistema de secado
- Sistema de enrollado
- Sistema de expulsión
- Sistema de corte

En este capítulo se presenta el diseño y dimensionamiento mecánico de cada sistema.

4.1 DIMENSIONAMIENTO DEL EJE PARA EL RODILLO DE SOPORTE DEL ROLLO DE MATERIA PRIMA

Este eje será el encargado de soportar el peso del rollo de papel periódico (materia prima) que es de 369 kg como se indica en la Figura 38 (etiqueta con especificaciones del rollo de materia prima), y también soportará el peso del tubo que estará soldado para formar un rodillo como se muestra en la Figura 39.

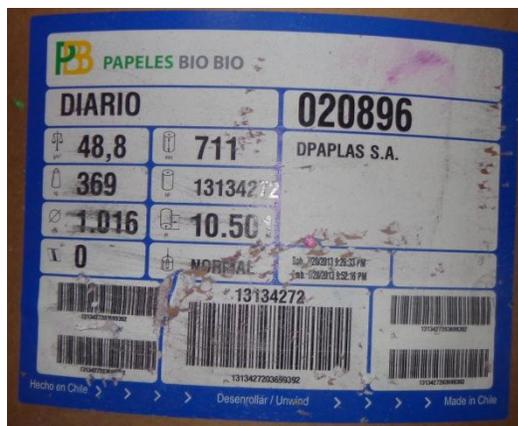


Figura 38. Información del rollo de papel periódico o diario

Fuente: (papelesbiobio.cl, 2015)

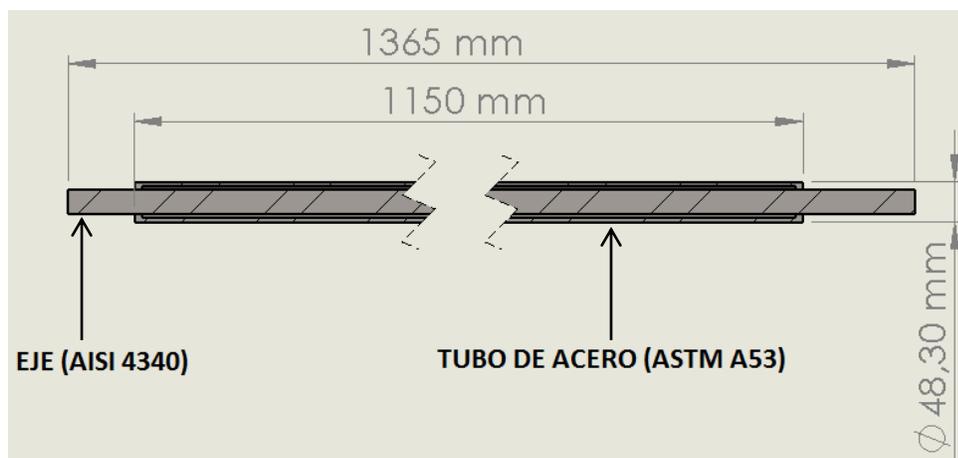


Figura 39. Rodillo para materia prima

Para el diseño de este eje no giratorio (que no está sometido a torsión) se realiza un estudio estático, como una viga circular.

Primero se determina la carga total que este eje debe soportar, utilizando un catálogo de tubos de acero (Tabla 9) se encuentra el peso del tubo a utilizarse.

Tabla 9

Catálogo de tubería de acero al carbono (Aceros MG Quito)

Diámetro Nominal NPS		Diámetro Exterior Real		Espesor de Pared		Identificación		Peso del Tubo	
Pulgadas in.	Milímetros mm.	(in.)	mm.	Pulgadas (in.)	Milímetros (mm.)	Weight Class	Schedule	lb/pie	kg/m
1/2	15	0.840	21.3	0.109	2.77	STD	40	0.85	1.27
				0.147	3.73	XS	80	1.09	1.62
3/4	20	1.050	26.7	0.113	2.87	STD	40	1.13	1.69
				0.154	3.91	XS	80	1.47	2.20
1	25	1.315	33.4	0.133	3.38	STD	40	1.68	2.50
				0.179	4.55	XS	80	2.17	3.24
1-1/4	32	1.660	42.2	0.140	3.56	STD	40	2.27	3.39
				0.191	4.85	XS	80	3.00	4.47
1-1/2	40	1.900	48.3	0.145	3.68	STD	40	2.72	4.05
				0.200	5.08	XS	80	3.63	5.41
2	50	2.375	60.3	0.154	3.91	STD	40	3.65	5.44
				0.218	5.54	XS	80	5.02	7.48

Fuente: (vemacero.com, 2015)

El tubo tiene un largo de 1.15 m con el que se determina el peso:

$$L_{tubo} = 1.15m$$

$$m_{tubo} = 5.41 \frac{kg}{m}$$

$$W_{tubo} = 60.97N$$

La carga total que debe soportar el eje es:

$$W_{total} = W_{tubo} + W_{papel}$$

$$W_{papel} = 3616.2N$$

$$W_{total} = 60.97N + 3616.2N$$

$$W_{total} = 3677.17N$$

Esta carga de 3677.17 N se aplica en dos puntos del eje, por este motivo se divide para 2.

$$W_{total} = 3677.17 N$$

$$P_1 = \frac{3677.17 N}{2}$$

$$P_1 = 1838.6 N$$

$$P_1 = P_2$$

Se realiza el diagrama de cuerpo libre del eje, Figura 40.



Figura 40. Diagrama de cuerpo libre del eje

El eje es de acero recocido AISI 4340, por su adecuada combinación de ductilidad y resistencia mecánica.

Para hallar el diámetro del eje se utiliza el caso 3: *Viga libremente apoyada, dos cargas concentradas iguales colocadas simétricamente*, Obtenido de: (Fitzgerlad, 2012)

Dónde:

S = módulo de la sección

M = momento flexionante interno de la viga

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

c = distancia desde el eje neutro de la viga hasta las fibras extremas

σ = esfuerzo flector

$FS = \text{factor de seguridad}$

$a = \text{distancia de la carga aplicada}$

$P = \text{carga}$

$\sigma_f = \text{resistencia del material}$

$\sigma_p = \text{esfuerzo permisible}$

$$a = 0.237m$$

$$M = P * a$$

$$M = 1838.6N * 0.237m$$

$$M = 435.74Nm$$

Se utiliza un factor de seguridad $FS=1.5$ para evitar fallas debido a sobrecargas.

$$FS = \frac{\sigma_f}{\sigma_p}$$

$$\sigma_f (\text{AISI 4340}) = 470MPa$$

$$\sigma_p = \frac{470MPa}{1.5}$$

$$\sigma_p = 313.3MPa$$

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

$$\sigma = \sigma_p$$

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

$$S = \frac{435.74 Nm}{313.3 MPa}$$

$$S = 1.39 * 10^{-6} m^3$$

$$S = \frac{I}{c}$$

$$I = \frac{\pi D^4}{64}$$

$$c = \frac{D}{2}$$

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

De esta ecuación se despeja el diámetro:

$$D = \sqrt[3]{\frac{S * 32}{\pi}}$$

$$D = \sqrt[3]{\frac{1.39 * 10^{-6} m^3 * 32}{\pi}}$$

$$D = 24 mm$$

El eje debe tener un diámetro de 24 mm, se acude a un catálogo de ejes para seleccionar el más próximo al diámetro requerido, (Tabla 10).

Se ha realizado un análisis mediante elementos finitos al eje para conocer la deflexión que sufre de este.

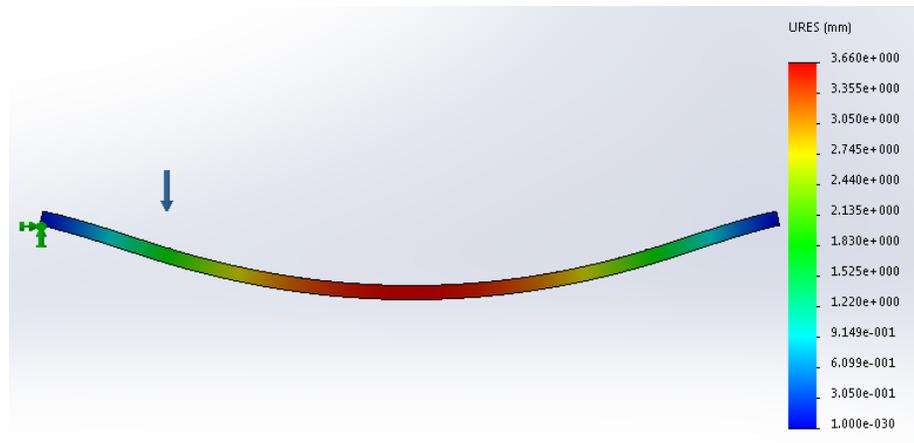


Figura 41. Análisis de deflexión del eje del rodillo para materia prima

Como resultado de este análisis se ha obtenido una deflexión de 3.6 mm, este valor no debe superar el valor de deflexión máxima permisible que es:

$$\delta = \frac{L}{360}$$

Dónde:

$\delta =$ deflexión máxima

$L =$ longitud de claro

$$\delta = \frac{1365mm}{360}$$

$$\delta = 3.79mm$$

La deflexión producida en el eje de 3.6 mm no supera la deflexión máxima permisible.

Tabla 10

Catálogo de ejes macizos y ejes huecos (Aceros MG Quito)

Tabla de medidas · Medidas en mm			
Diámetro del eje	Referencia	Peso	Longitud
d_{LW}		kg/m	$L_{m\acute{a}x}$
4	W 4	0,1	2 500
5	W 5	0,15	3 600
6	W 6	0,22	4 000
8	W 8	0,39	4 000
10	W 10	0,61	4 000
12	W 12	0,89	6 000
14	W 14	1,21	6 000
15	W 15	1,37	6 000
16	W 16	1,57	6 000
17	W 17	1,78	6 000
18	W 18	1,98	6 000
20	W 20	2,45	6 000
24	W 24	3,55	6 000
25	W 25	3,83	6 000
30	W 30	5,51	6 000
32	W 32	6,3	6 000

Fuente: (apiro.com, 2015)

Se selecciona un eje W24, que es un **eje de 24mm diámetro**.

4.2 SELECCIÓN DE CHUMACERAS PARA EL RODILLO DE SOPORTE DE LA MATERIA PRIMA

Una vez que ha quedado definido el rodillo que soportará al rollo de materia prima (rollo de papel periódico) Figura 42, se selecciona las chumaceras en las que va a estar apoyado, de un catálogo de chumaceras, Tabla 11.

Debido a que este es un rodillo que va a girar a bajas revoluciones no se realiza un análisis dinámico sino únicamente se seleccionara la chumacera según el diámetro del eje, que es 24 mm.

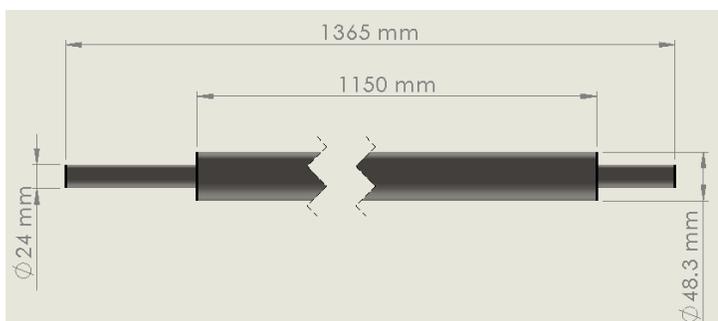


Figura 42. Dimensiones del rodillo de soporte para materia prima

Tabla 11

Catálogo de chumaceras (Aceros MG Quito)

Diámetro del eje mm pulg.	Número de la chumacera ¹⁾	Dimensiones nominales											Tamaño del perno mm pulg.	Número del rodamiento
		<i>H</i>	<i>L</i>	<i>J</i>	<i>A</i>	<i>N</i>	<i>N</i> ₁	<i>H</i> ₁	<i>H</i> ₂	<i>L</i> ₁	<i>B</i>	<i>S</i>		
12 1/2	UCP201D1 UCP201-008D1	30.2 1 3/16	127 5	95 3 3/4	38 1 1/2	13 1/2	16 5/8	14 9/16	62 2 7/16	42 1 21/32	31 1.2205	12.7 0.500	M10 3/8	UC201D1 UC201-008D1
15 9/16 5/8	UCP202D1 UCP202-009D1 UCP202-010D1	30.2 1 3/16	127 5	95 3 3/4	38 1 1/2	13 1/2	16 5/8	14 9/16	62 2 7/16	42 1 21/32	31 1.2205	12.7 0.500	M10 3/8	UC202D1 UC202-009D1 UC202-010D1
17 11/16	UCP203D1 UCP203-011D1	30.2 1 3/16	127 5	95 3 3/4	38 1 1/2	13 1/2	16 5/8	14 9/16	62 2 7/16	42 1 21/32	31 1.2205	12.7 0.500	M10 3/8	UC203D1 UC203-011D1
20 3/4	UCP204D1 UCP204-012D1	33.3 1 5/16	127 5	95 3 3/4	38 1 1/2	13 1/2	16 5/8	14 9/16	65 2 9/16	42 1 21/32	31 1.2205	12.7 0.500	M10 3/8	UC204D1 UC204-012D1
25 13/16 7/8	UCP205D1 UCP205-013D1 UCP205-014D1	36.5 1 7/16	140 5 1/2	105 4 1/8	38 1 1/2	13 1/2	16 5/8	15 19/32	71 2 25/32	42 1 21/32	34.1 1.3425	14.3 0.563	M10 3/8	UC205D1 UC205-013D1 UC205-014D1
15/16 1	UCP205-015D1 UCP205-100D1	23.8 1 1/4	140 5 1/2	105 4 1/8	38 1 1/2	13 1/2	16 5/8	15 19/32	71 2 25/32	42 1 21/32	34.1 1.3425	14.3 0.563	M10 3/8	UC205-015D1 UC205-100D1

Fuente: (apiro.com, 2015)

Se selecciona una chumacera de pie UCP 205-015 que es para diámetros de 15/16 plg ó 23.8 mm, que es el valor más cercano al del eje de 24 mm de diámetro, (Figura 43).

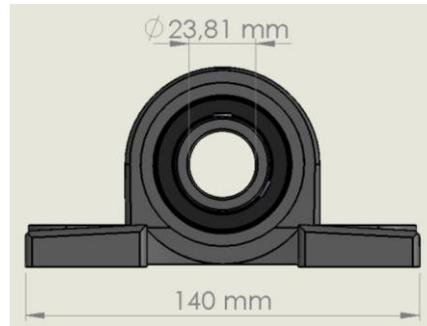


Figura 43. Chumacera de pie UCP 205-015

4.3 DISEÑO DE LA ESTRUCTURA PARA LA MATERIA PRIMA

Para el diseño de esta estructura se debe tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Soporte estructural para el rollo de materia prima
- Brindar facilidad para el montaje del rollo de materia prima
- Material: Acero estructural ASTM A36

4.3.1 SELECCIÓN DEL MATERIAL PARA LA ESTRUCTURA PARA LA MATERIA PRIMA

Se ha seleccionado un tubo cuadrado de acero A36 de 40 mm de lado y 1 mm de pared, que es comúnmente usado para estructuras por su bajo costo y gran resistencia mecánica.

4.3.2 DIMENSIONES DE LA ESTRUCTURA PARA LA MATERIA PRIMA

La estructura debe brindar el espacio suficiente para facilitar el montaje y desmontaje del rollo de materia prima, cuyas dimensiones son las de un cilindro de 1300 mm de diámetro y 800 mm de alto, en la Figura 44 se indica las dimensiones que tiene la estructura para dar cumplimiento a este requerimiento, y en la Figura 45 se muestra la estructura con el rollo de materia prima montado.

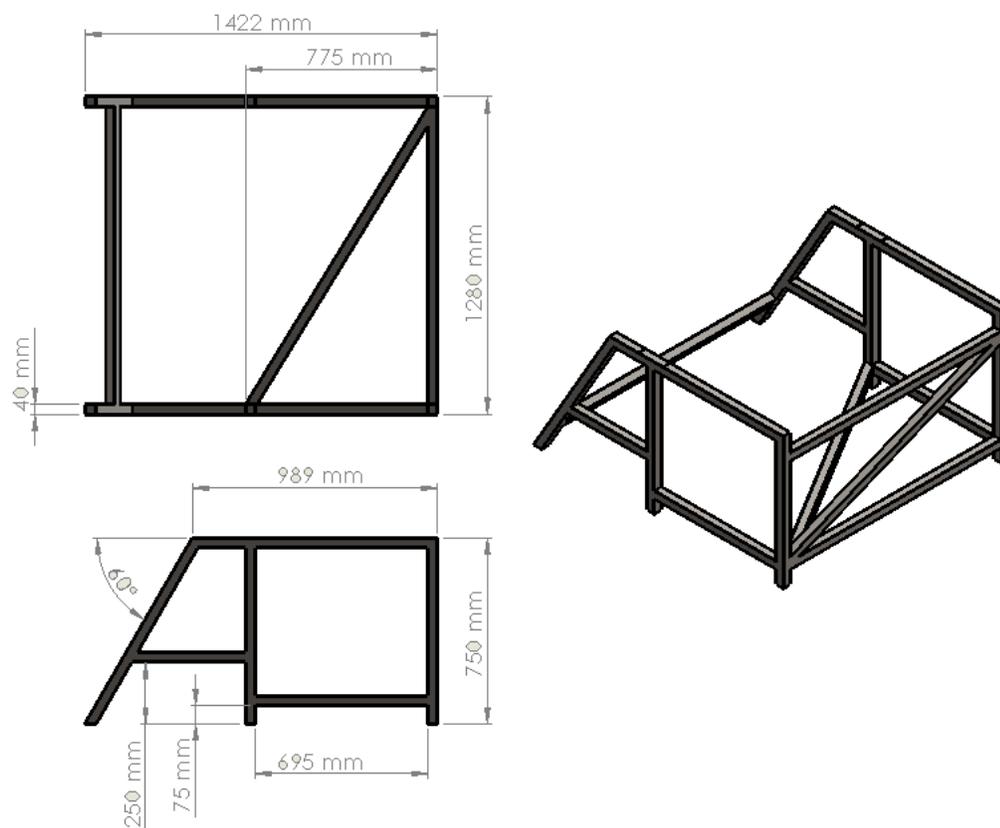


Figura 44. Dimensiones de la estructura para la materia prima

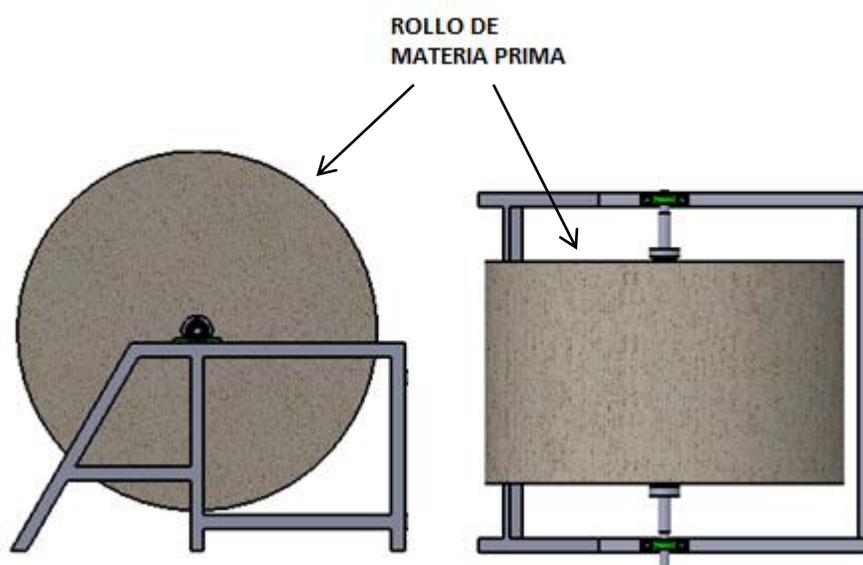


Figura 45. Estructura con la materia prima montada (vista lateral y superior)

En la base de las patas irán colocados tapones de caucho, como el que se indica en la Figura 46.

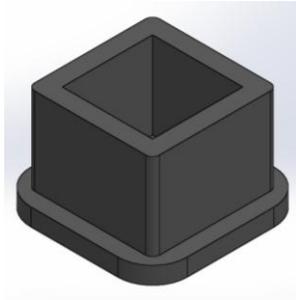


Figura 46. Tapón de caucho

4.3.3 ANÁLISIS DE ESFUERZOS DE LA ESTRUCTURA PARA LA MATERIA PRIMA

La estructura debe ser capaz de soportar el peso del rollo de materia prima y el peso del rodillo de soporte de la materia prima.

El peso del rodillo de soporte es la suma del peso del tubo y del eje que lo forman.

$$W_{tubo} = 60.97N$$

$$W_{eje} = 47N$$

$$W_{rodillo} = W_{tubo} + W_{eje}$$

$$W_{rodillo} = 107.97N$$

La carga total que debe soportar la estructura es la siguiente:

$$W_{papel} = 3616.2N$$

$$W_{rodillo} = 107.97N$$

$$W_{total} = W_{papel} + W_{rodillo}$$

$$W_{total} = 3724.17N$$

Para garantizar que el diseño de la estructura soporte la carga con la que va a trabajar, se realizó un análisis de esfuerzos utilizando un software de elementos finitos mediante el cual se evalúa el factor de seguridad de la misma.

Toda la carga está apoyada en la superficie de las chumaceras, por tal razón se trabaja con dos fuerzas que en total deben sumar 3724.17 N.

Los resultados del análisis son los siguientes:

En la Figura 47 se observa el resultado del análisis de tensiones, el mismo que indica una tensión máxima de von Mises de 69.23 MPa que no sobrepasa al límite elástico del material que es de 250 MPa, la cual está ubicada en las perforaciones existentes en la estructura para la sujeción de las chumaceras y otros elementos.

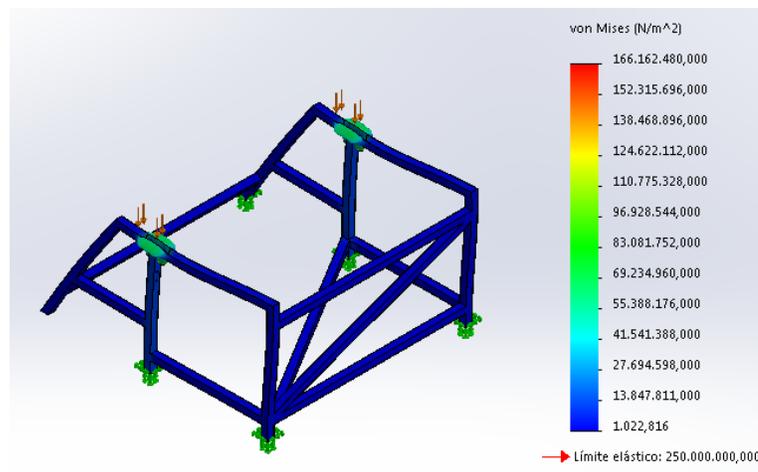


Figura 47. Resultado del análisis de tensiones

En la Figura 48 se indica que la estructura tiene un factor de seguridad mínimo de 1.5, de esta manera se comprueba que la estructura tiene una buena resistencia mecánica; con esto se da cumplimiento al requerimiento de soporte estructural para la carga del rollo de materia prima.

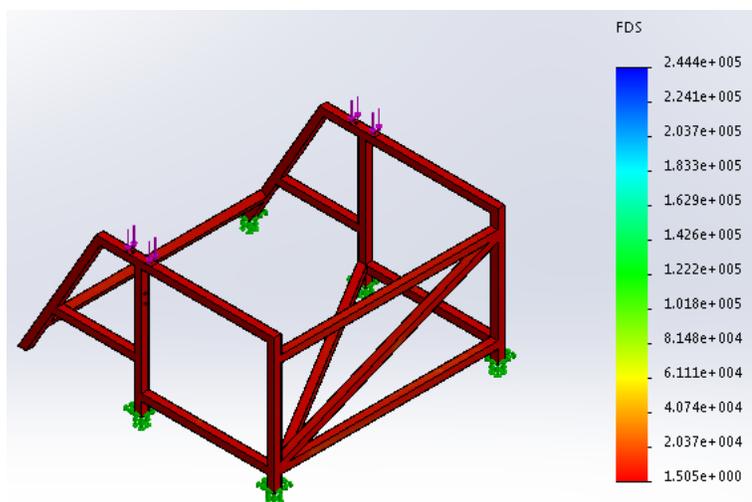


Figura 48. Resultado del análisis del Factor de Seguridad (FDS)

En la Figura 49 se observa que la estructura tiene una deformación máxima de 0.107 mm

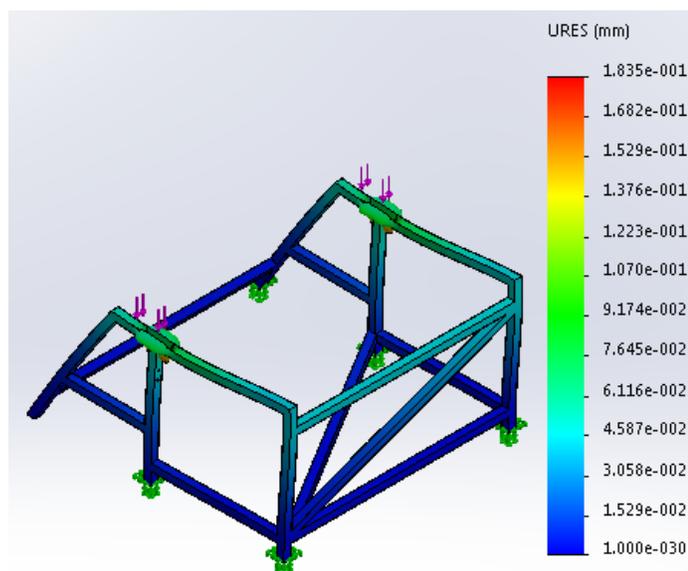


Figura 49. Resultado del análisis de deformación

4.4 DIMENSIONAMIENTO DEL RODILLO DE PINTADO

Este rodillo es el encargado de tinturar el papel, su fabricación será similar al rodillo de soporte de materia prima, estará formado por un eje y un

tubo, y se le adicionará una capa de un elastómero (vulcanizado) para tener una mejor absorción de la tinta.

Se seleccionó un tubo de acero al carbono de 73 mm de diámetro, el cual también se utilizará en otros sistemas de la máquina, (Tabla 12).

Tabla 12

Catálogo de tubería de acero al carbono (Aceros MG Quito)

Diámetro Nominal NPS DN		Diámetro Exterior Real		Espesor de Pared		Identificación		Peso del Tubo	
Pulgadas in.	Milímetros mm.	(in.)	mm.	Pulgadas (in.)	Milímetros (mm.)	Weight Class	Schedule	lb/pie	kg/m
1/2	15	0.840	21.3	0.109	2.77	STD	40	0.85	1.27
				0.147	3.73	XS	80	1.09	1.62
3/4	20	1.050	26.7	0.113	2.87	STD	40	1.13	1.69
				0.154	3.91	XS	80	1.47	2.20
1	25	1.315	33.4	0.133	3.38	STD	40	1.68	2.50
				0.179	4.55	XS	80	2.17	3.24
1-1/4	32	1.660	42.2	0.140	3.56	STD	40	2.27	3.39
				0.191	4.85	XS	80	3.00	4.47
1-1/2	40	1.900	48.3	0.145	3.68	STD	40	2.72	4.05
				0.200	5.08	XS	80	3.63	5.41
2	50	2.375	60.3	0.154	3.91	STD	40	3.65	5.44
				0.218	5.54	XS	80	5.02	7.48
2-1/2	65	2.875	73	0.203	5.16	STD	40	5.79	8.63
				0.276	7.01	XS	80	7.66	11.41
				0.375	9.52	---	160		
				0.552	14.02	XXS	-		

Fuente: (vemacero.com, 2015)

Para vulcanizar el tubo se debe tener claro que dureza se desea para el elastómero a adherirse. Esta dureza se mide en grados shore.

Se ha seleccionado una dureza intermedia de 50 Shore con la cuál conseguiremos una buena absorción de tinta y que al momento de ejercer presión sobre éste, él mismo no se deforme, este proceso será realizado por Ecuaroller, empresa dedicada a la fabricación de rodillos de caucho.

Anteriormente se planteó un vulcanizado con un espesor de 10 mm por ser el mínimo espesor que ofrece el fabricante y disminuir costos, pero por efectos de mantenimiento es recomendable un espesor mayor ya que este

puede sufrir daños en la superficie como, adhesión de resinas sintéticas de las tintas al caucho produciendo un cristalizado o cerramiento de poros generando decoloración del caucho e impidiendo la buena impresión, si este fuera el caso el rodillo tiene que ser rectificado para recuperar sus propiedades, por este motivo se replantea un espesor de 25 mm.

El rodillo ya vulcanizado tendrá las siguientes dimensiones, (Figura 50)

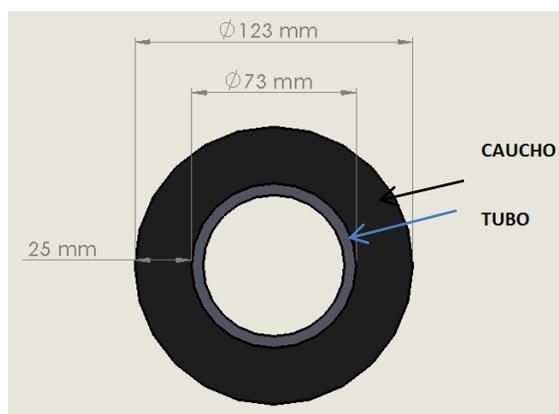


Figura 50. Dimensiones tubo vulcanizado

La máquina trabajará con un ancho de papel máximo de 900 mm, por esta razón el largo del tubo vulcanizado es de 940 mm, dejando 20 mm libres a cada lado para corregir cualquier desviación que pueda darse con el papel.

4.5 DIMENSIONAMIENTO DEL EJE PARA EL RODILLO DE TINTURADO

Este eje es el encargado de soportar el peso del tubo vulcanizado, mediante software se obtiene un valor aproximado de la masa que posee el caucho, que es 8.55 kg para las dimensiones ya establecidas, y el peso del tubo lo se consigue del catálogo, Tabla 12.

$$W_{tubo} = 79.49N$$

$$W_{caucho} = 83.79N$$

$$W_{total} = W_{tubo} * W_{caucho}$$

$$W_{total} = 163.28N$$

Con el valor de la carga a soportar se determina el diámetro mínimo del eje, como este eje no está sometido a torsión se realiza el mismo análisis estático utilizado en el rodillo de soporte de materia prima.

La carga estará dividida en 2 puntos, por este motivo la carga total se divide para 2. (Figura 51)

$$W_{total} = 163.28N$$

$$P_1 = \frac{163.28N}{2}$$

$$P_1 = 81.64N$$

$$P_1 = P_2$$

$$a = 125mm$$



Figura 51. Diagrama de cuerpo libre del eje del rodillo de tinturado

$$M = P * a$$

$$M = 81.64N * 0.125m$$

$$M = 10.2Nm$$

Se utiliza un factor de seguridad $FS=5$, debido a que va a soportar la presión de otro rodillo el cual será movido por un pistón neumático.

Con estos datos y siguiendo los mismos pasos del caso anterior de análisis estático para un eje, se concluye que el eje debe tener un diámetro de 10 mm

Este es el diámetro mínimo que debe tener el eje para soportar la carga indicada.

Hay que tener en cuenta que el eje tendrá agujeros roscados para prisioneros M6 que vienen en las chumaceras, en el catálogo de ejes (Tabla 13) se sugiere el diámetro del eje según el tipo de agujero que se deseé.

Tabla 13

Catálogo de ejes macizos y ejes huecos

Tabla de medidas · Medidas en mm																		
Referencia ¹⁾	Rosca axial										Rosca radial							
	K ₆											Medidas						
												C ₄	C ₅ min ²⁾ , C ₆ min ²⁾ Característica		H ₇	H ₈	K ₅	K ₇
										03		04-05						
W 8	M3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
W 10	M3	M4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
W 12	-	M4	M5	-	-	-	-	-	-	-	75	120	10	-	7	2	5	M4
W 14	-	M4	M5	M6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
W 15	-	-	M5	M6	M8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
W 16	-	-	M5	M6	M8	-	-	-	-	-	75	100	150	15	10	2,5	6	M5
W 18	-	-	-	M6	M8	M10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
W 20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	150	15	12,5	3	6	M5
W 20	-	-	-	M6	M8	M10	-	-	-	-	75	100	150	15	11	3	7	M6
W 24	-	-	-	-	M8	M10	M12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fuente: (apiro.com, 2015)

Se selecciona un eje de 20 mm de diámetro, con este diámetro se garantiza que el eje soportará la carga y no fallará por los agujeros realizados para la sujeción del mismo.

Se realiza un análisis de deflexión para comprobar que esta no supere el valor de deflexión máxima, que para este eje de 1190 mm de largo es de 3.3 mm, (Figura 52).

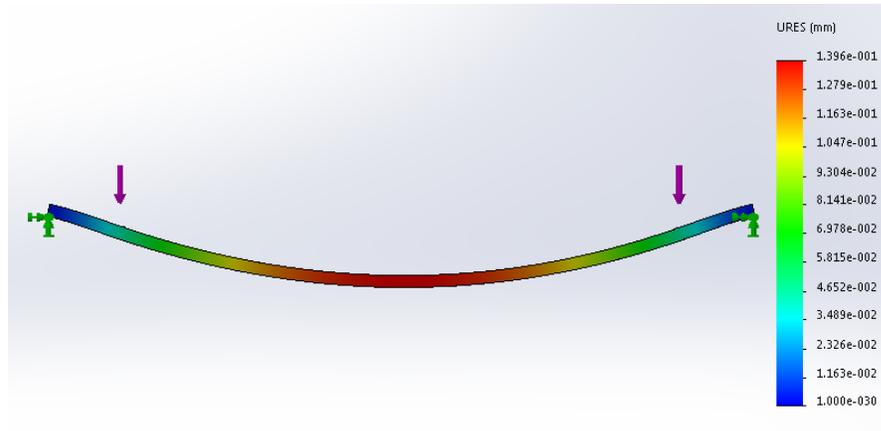


Figura 52. Análisis de deflexión del eje del rodillo de tinturado

Para este eje tenemos una deflexión de 0.1 mm, la cual no supera la deflexión máxima permisible.

4.6 SELECCIÓN DE CHUMACERAS PARA EL RODILLO DE TINTURADO

Ya definido el rodillo de tinturado (Figura 53), se puede seleccionar las chumaceras en las que va a estar apoyado de un catálogo (Tabla 14), para este rodillo se utilizarán chumaceras de pared ovaladas.

Se selecciona según el diámetro del eje, que es 20 mm, debido a que es un rodillo que va a trabajar a bajas revoluciones.

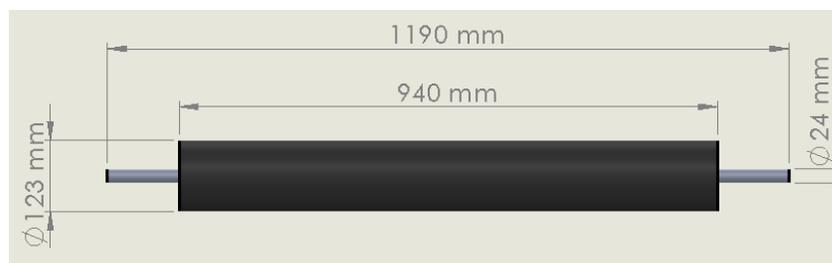


Figura 53. Dimensiones del rodillo de tinturado

Tabla 14

Catálogo de chumaceras (Aceros MG Quito)

Diámetro del eje mm pulg.	Número ¹⁾ de la chumacera	Dimensiones nominales										Tamaño del perno mm pulg.	Número del rodamiento
		mm					pulg.						
		H	J	A ₂	A ₁	A	N	L	A ₀	B	S		
12	UCFL201D1	113	90	15	11	25.5	12	60	33.3	31	12.7	M10	UC201D1
1/2	UCFL201-008D1	4 7/16	3 35/64	19/32	7/16	1	15/32	2 3/8	1 5/16	1.2205	0.500	3/8	UC201-008D1
15	UCFL202D1	113	90	15	11	25.5	12	60	33.3	31	12.7	M10	UC202D1
9/16	UCFL202-009D1	4 7/16	3 35/64	19/32	7/16	1	15/32	2 3/8	1 5/16	1.2205	0.500	3/8	UC202-009D1
5/8	UCFL202-010D1												UC202-010D1
17	UCFL203D1	113	90	15	11	25.5	12	60	33.3	31	12.7	M10	UC203D1
1 1/16	UCFL203-011D1	4 7/16	3 35/64	19/32	7/16	1	15/32	2 3/8	1 5/16	1.2205	0.500	3/8	UC203-011D1
20	UCFL204D1	113	90	15	11	25.5	12	60	33.3	31	12.7	M10	UC204D1
3/4	UCFL204-012D1	4 7/16	3 35/64	19/32	7/16	1	15/32	2 3/8	1 5/16	1.2205	0.500	3/8	UC204-012D1

Fuente: (apiro.com, 2015)

Se seleccionó una chumacera de pared ovalada UCFL 204 la cual es para un diámetro de 20 mm, en la Figura 54 se indican sus dimensiones principales.

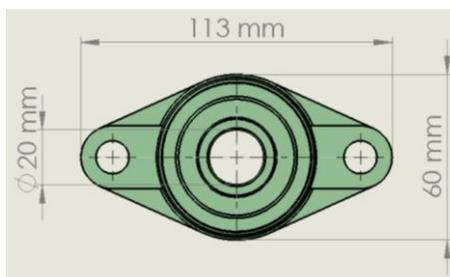


Figura 54. Chumacera UCFL 204

4.7 DIMENSIONAMIENTO DEL RODILLO DE PRESIÓN PARA EL TINTURADO

Este rodillo será el encargado de presionar al papel contra el rodillo de tinturado, se utilizará un tubo de 73 mm de diámetro, similar al utilizado en el rodillo de tinturado pero con un largo de 910 mm, este rodillo tendrá sujeto el eje al tubo mediante rodamientos. Figura 55 y Figura 56.

En el dimensionamiento del eje para el rodillo de tinturado se determinó un eje de diámetro de 20 mm, el rodillo de presión para el tinturado es más liviano pero tendrá agujeros M6 para la sujeción del mismo por tal razón de aquí en adelante se utilizará un eje de 20 mm de diámetro en los demás rodillos de la máquina ya que son de similares características y dimensiones al eje calculado anteriormente.

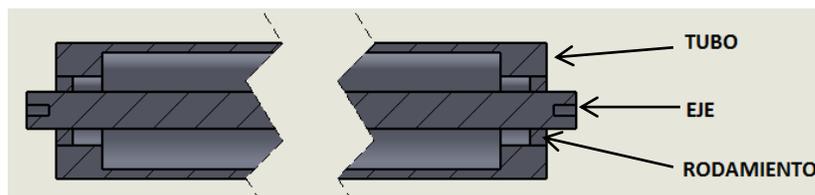


Figura 55. Partes del rodillo de presión para el tinturado



Figura 56. Dimensiones del rodillo de presión para el tinturado

El rodillo tendrá rodamientos 6804 que son para un diámetro de 20 mm, seleccionados del catálogo de rodamientos, (Tabla 15).

Tabla 15

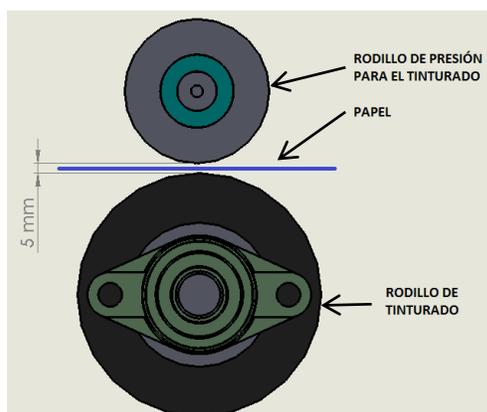
Catálogo de rodamientos

d (mm)	D (mm)	B (mm)	r min (mm)	Cr (N)	C0r (N)	Cr (kgf)	C0r (kgf)	f0	Speed limit - Grease (tr/min)	Speed limit - Oil (tr/min)	Bearing part number
17	35	8	0.3	6000	3250	610	330	14.4	22000	26000	16003
17	35	10	0.3	6000	3250	610	330	14.4	22000	26000	6003
17	40	12	0.6	9550	4800	975	490	13.2	17000	20000	6203
17	47	14	1	13600	6650	1390	675	12.4	15000	18000	6303
20	32	7	0.3	4000	2470	410	252	15.5	22000	26000	6804
20	37	9	0.3	6400	3700	650	375	14.7	19000	22000	6904
20	42	8	0.3	7900	4450	810	455	14.5	18000	20000	16004

Fuente: (apiro.com, 2015)

4.8 SELECCIÓN DEL PISTÓN DEL SISTEMA DE TINTURADO

Este pistón va a ser el encargado de subir y bajar el rodillo de presión para el tinturado; su carrera es de 5 mm ya que sólo se necesita que pase el papel que tiene menos de 1mm de espesor, en la Figura 57 se indica la posición de los rodillos y el espacio existente para el paso del papel.

**Figura 57. Separación necesaria entre rodillos**

Por las características antes mencionadas se utiliza un pistón compacto, denominado así por ser de carrera corta.

La masa que debe mover este pistón para seleccionar el embolo necesario es.

$$m_{tubo} = 7.85kg$$

Para saber la masa del eje y de la pieza en la que estará sostenido el tubo de presión utilizaremos un software, el cual nos indica las propiedades físicas de la pieza, aplicando como material acero A36 para la pieza soporte y acero recocido AISI 4340 para el eje, Figura 58, Figura 59 y Figura 60.

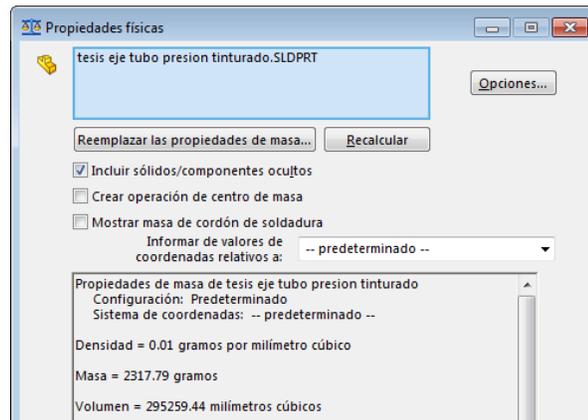


Figura 58. Propiedades físicas del eje para el rodillo de presión para el tinturado

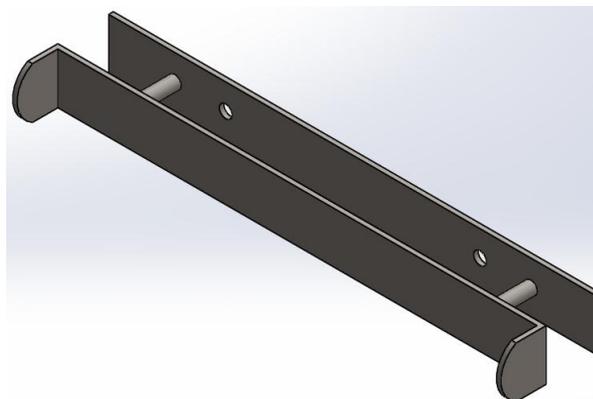


Figura 59. Pieza para soporte del rodillo de presión para el tinturado

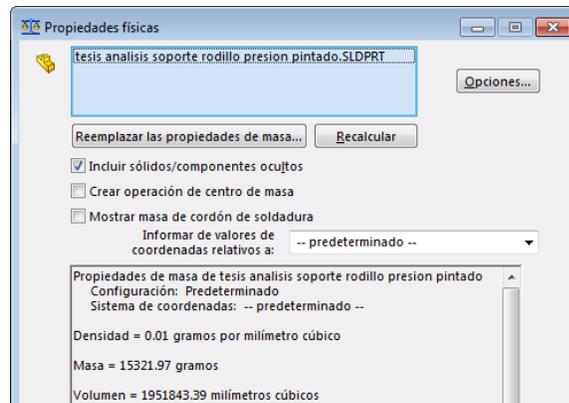


Figura 60. Propiedades físicas de la pieza soporte para el rodillo de presión para el tinturado

$$m_{eje} = 2.31kg$$

$$m_{pieza_soporte} = 15.32kg$$

$$m_{total} = m_{tubo} + m_{eje} + m_{pieza_sopote}$$

$$m_{total} = 7.85kg + 2.31kg + 15.32kg$$

$$m_{total} = 25.48kg$$

Otro factor esencial para la selección de un pistón neumático es determinar cuál va a ser la presión de trabajo, los sistemas neumáticos normalmente trabajan entre (4 – 8) bar, para lo cual tomaremos un valor medio de 6 bar.

En la práctica la fuerza real o necesaria es un poco mayor, ya que existen fuerzas de rozamiento con la estanqueidad del cilindro, por ello se considera que la fuerza teórica del cilindro se verá reducida en un (10 – 15) %

Con estos datos se puede determinar cuál será el embolo del pistón utilizando un catálogo de pistones neumáticos de la marca Airtac.

Dónde:

$$m = masa$$

$$F_{nom} = Fuerza nominal$$

$$F_{real} = \text{Fuerza real}$$

$$p_{trabajo} = \text{Presión de trabajo}$$

$$m = 25.48kg = 56.05lb$$

$$F_{nom} = 56.05lbf$$

$$F_{real} = F_{nom} + (15\% F_{nom})$$

$$F_{real} = 64.45lbf$$

$$p_{trabajo} = 6bar = 87 psi$$

Como se observa en la Tabla 16, a una presión de 87 psi el diámetro de embolo más cercano a los requerimientos de fuerza del mecanismo ($F=64.45$ lbf) es el de 32 mm de diámetro proporcionando una fuerza en extensión de ($F1=108.5$ lbf) y una fuerza en retracción de ($F2=93.2$ lbf) siendo esta última la fuerza limitante para la elección del pistón.

Tabla 16

Catálogo airtac

Diámetro		Presión PSI						
		14.5	29	43.5	58	72.5	87	101.5
6	F1	0,6	1,3	1,9	2,5	3,2	3,8	4,5
	F2	0,5	0,9	1,4	2,0	2,3	2,9	3,4
10	F1	1,8	3,5	5,3	7,1	8,8	10,6	12,4
	F2	1,4	2,9	4,5	5,9	7,4	8,8	10,4
12	F1	2,5	5,1	7,6	10,2	12,7	15,3	17,8
	F2	1,8	3,8	5,6	7,7	9,5	11,5	13,3
16	F1	4,5	9,0	13,6	18,1	22,6	27,1	31,7
	F2	3,8	7,7	11,7	15,5	19,4	23,4	27,2
20	F1	7,1	14,1	21,2	28,3	35,3	42,4	49,5
	F2	5,9	11,9	17,8	23,6	29,7	35,6	41,6
25	F1	11,0	22,1	33,1	44,2	55,2	66,3	77,3
	F2	9,2	18,5	27,7	37,1	46,4	55,6	64,8
32	F1	18,1	36,2	54,2	72,2	90,5	108,5	126,7
	F2	15,5	31,1	46,6	62,1	77,6	93,2	108,7
40	F1	28,1	56,5	84,8	113,0	141,3	169,7	197,8
	F2	23,6	47,5	71,1	95,0	118,6	142,4	166,1

Fuente: (industriassanfor.com, 2015)

Para una carrera de 5 mm y un diámetro de embolo de 32 mm se debe utilizar un pistón 5x32, de doble efecto.

En la Figura 61 se indican las dimensiones del marco en el que estará sostenido el pistón compacto, y en la Figura 62 el mecanismo completo.

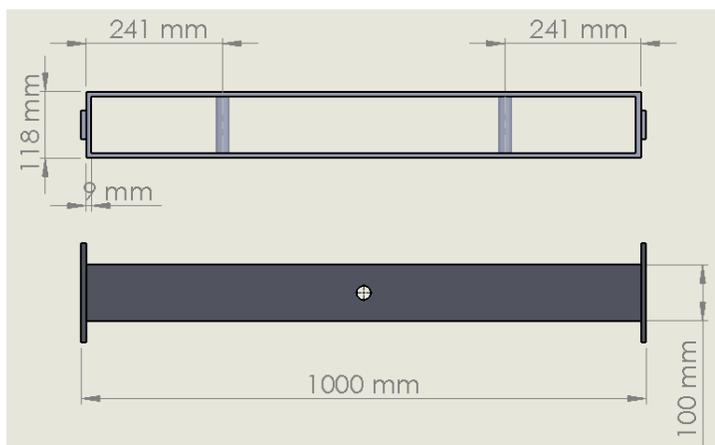


Figura 61. Dimensiones del marco para el pistón compacto 5x32

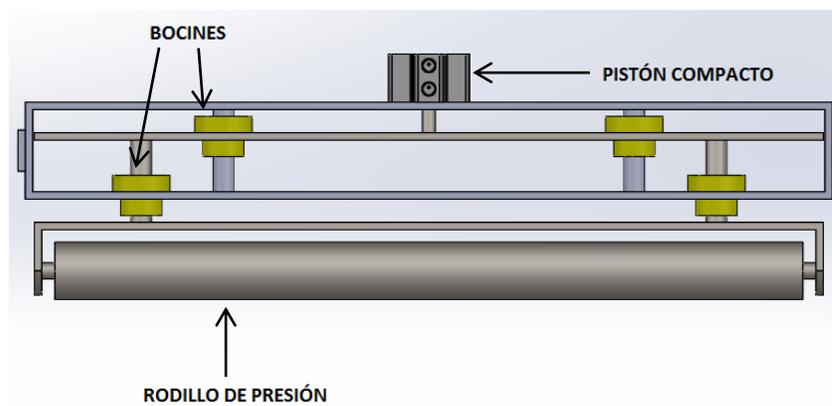


Figura 62. Mecanismo de presión para el tinturado (vista frontal)

4.9 SELECCIÓN DEL TUBO DE ENROLLE

Este tubo es en el que se va a enrollar el papel tinturado, el producto final de la máquina que son los rollos de papel de color deben tener un diámetro interno de 32 mm, por tal motivo se ha seleccionado de un catálogo (Tabla 17)

un tubo de diámetro nominal (NPS=1 plg) porque su diámetro exterior es de (O.D.=33.4 mm), muy próximo al valor requerido.

Se ha seleccionado un espesor de tubo de (SS=1.65 mm), ya que se necesita que sea lo más ligero posible para facilitar su manipulación al operario, y dicho espesor es el más delgado que ofrece este fabricante.

Con respecto al largo del tubo se ha determinado un largo de 1 m debido a que uno de los requerimientos del cliente es que la máquina tenga la capacidad de hacer rollos de un ancho máximo de 900 mm, con esta medida nos queda 50 mm libres a cada lado del tubo para su manipulación durante el proceso, en la Figura 63 se indican las dimensiones del tubo de enrolle.

Tabla 17

Catálogo de tubos y accesorios de acero inoxidable (Aceros MG Quito)

NPS	(O.D.) mm	SS	10S	Std. 40S	40	XS 80S	80	XXS
1/8"	10,29		1,24 0,28	1,73 0,37	1,73 0,37	2,41 0,47	2,41 0,47	
1/4"	13,72		1,65 0,49	2,24 0,64	2,24 0,64	3,02 0,82	3,02 0,82	
3/8"	17,15		1,65 0,63	2,31 0,87	2,31 0,87	3,20 1,12	3,20 1,12	
1/2"	21,3	1,65 0,81	2,11 1,02	2,77 1,29	2,77 1,29	3,73 1,64	3,73 1,64	7,47 2,59
3/4"	26,7	1,65 1,03	2,11 1,30	2,87 1,71	2,87 1,71	3,91 2,23	3,91 2,23	7,82 3,69
1"	33,4	1,65 1,31	2,77 2,13	3,38 2,54	3,38 2,54	4,55 3,29	4,55 3,29	9,09 5,53
1.1/4"	42,2	1,65 1,67	2,77 2,73	3,56 3,44	3,56 3,44	4,85 4,53	4,85 4,53	9,70 7,88

Fuente: (eduardocortina.com, 2015)

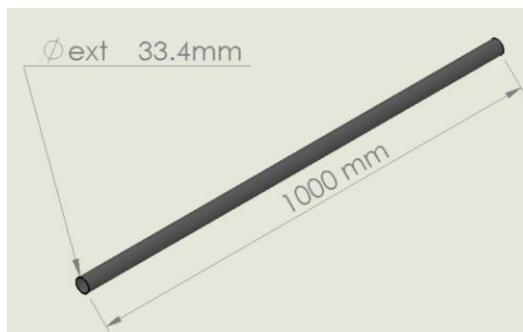


Figura 63. Dimensiones del tubo de enrollado

El tubo de enrollado es de acero inoxidable AISI 304 ya que se necesita que tenga buena resistencia mecánica, a la corrosión y a rayas superficiales, porque una vez que este enrollado el papel tinturado en el tubo, la superficie debe ser lo más lisa posible para que el rollo de papel se deslice sin mucha resistencia.

4.10 SELECCIÓN DE LOS PISTONES DEL SISTEMA DE DOSIFICACIÓN DE TUBOS

El sistema de dosificación de tubos es el encargado de proporcionar los tubos en los cuales se va a enrollar el papel durante el funcionamiento de la máquina, (Figura 64).

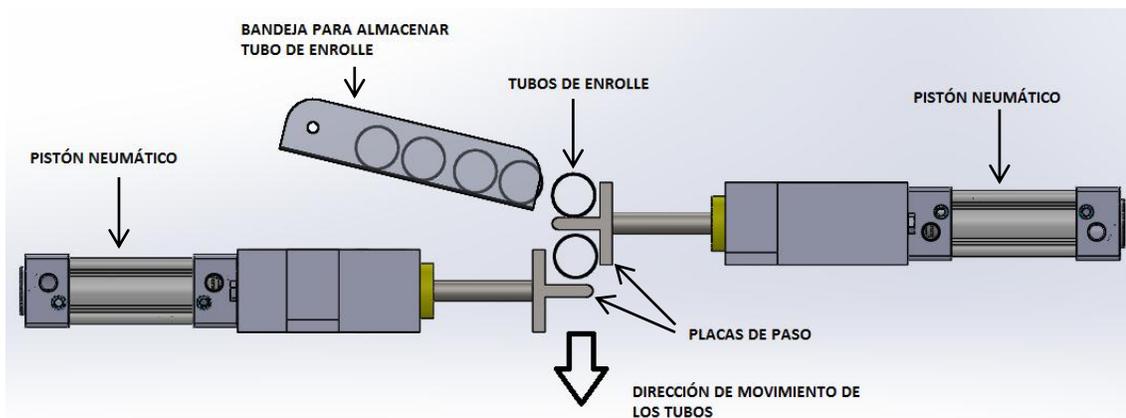


Figura 64. Esquema básico del sistema dosificador de tubos

Los pistones neumáticos del sistema serán los encargados de mover las placas que bloquean y permiten el paso de los tubos de enrollado, en la Figura 65 se indican las dimensiones de dichas placas.

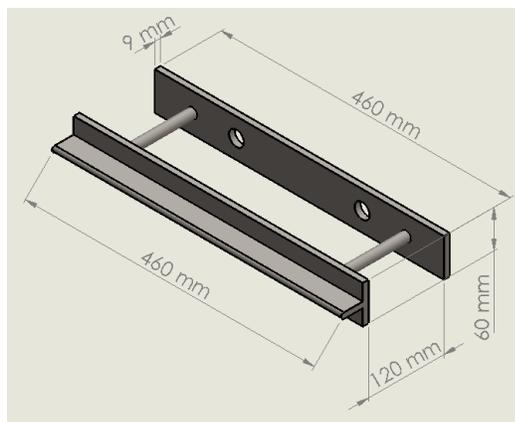


Figura 65. Dimensiones de las placas de paso

Las placas son de acero A36, aplicando este material en el software de diseño mecánico podemos obtener información específica de la pieza como por ejemplo masa, volumen e inercias.

En este caso nos interesa la masa del conjunto, la cual es 5.2 kg como se puede observar en la Figura 66, con este dato se sabe que el pistón debe tener la fuerza suficiente para mover esta masa.

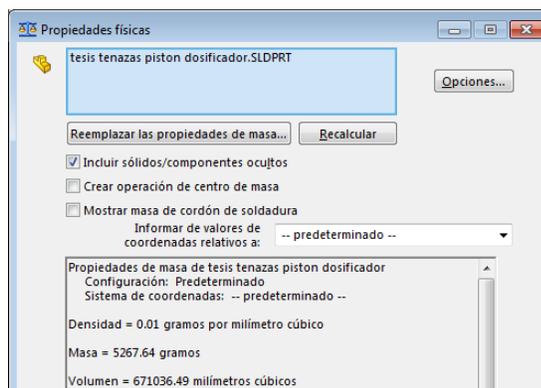


Figura 66. Propiedades físicas de la placa de paso

Dónde:

$m = \text{masa}$

$F_{nom} = \text{Fuerza nominal}$

$F_{real} = \text{Fuerza real}$

$p_{trabajo} = \text{Presión de trabajo}$

$$m = 5.2kg = 11.44lb$$

$$F_{nom} = 11.44lbf$$

$$F_{real} = F_{nom} + (15\% F_{nom})$$

$$F_{real} = 13.15lbf$$

$$p_{trabajo} = 6bar = 87 psi$$

Como se observa en la Tabla 18 a una presión de 87 psi el diámetro de embolo más cercano a los requerimientos de fuerza del mecanismo ($F=13.15$ lbf) es el de 16 mm de diámetro proporcionando una fuerza en extensión de ($F1=27.1$ lbf) y una fuerza en retracción de ($F2=23.4$ lbf) siendo esta última la fuerza limitante para la elección del pistón.

Tabla 18

Catálogo airtac

Diámetro	Presión PSI							
	14.5	29	43.5	58	72.5	87	101.5	
6	F1	0,6	1,3	1,9	2,5	3,2	3,8	4,5
	F2	0,5	0,9	1,4	2,0	2,3	2,9	3,4
10	F1	1,8	3,5	5,3	7,1	8,8	10,6	12,4
	F2	1,4	2,9	4,5	5,9	7,4	8,8	10,4
12	F1	2,5	5,1	7,6	10,2	12,7	15,3	17,8
	F2	1,8	3,8	5,6	7,7	9,5	11,5	13,3
16	F1	4,5	9,0	13,6	18,1	22,6	27,1	31,7
	F2	3,8	7,7	11,7	15,5	19,4	23,4	27,2
20	F1	7,1	14,1	21,2	28,3	35,3	42,4	49,5
	F2	5,9	11,9	17,8	23,6	29,7	35,6	41,6

Fuente: (industriassanfor.com, 2015)

A continuación se analiza el espacio que debe existir entre las placas de paso para que pueda pasar el tubo de enrollado sin ningún problema, en la Figura 67 se observa el espacio requerido.

Se necesita que los pistones se retraigan una distancia de 40 mm para permitir el paso de los tubos; utilizando el catálogo de pistones neumáticos Airtac se selecciona un pistón con una carrera de 50 mm ya que no existe uno a nuestra medida.

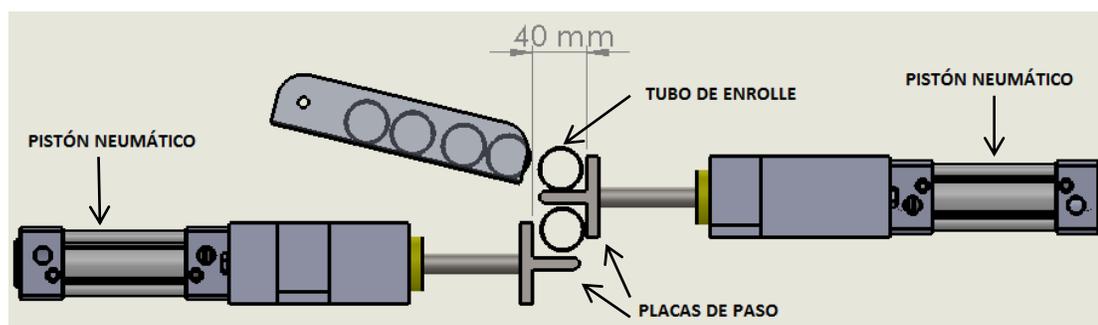


Figura 67. Carrera necesaria de los pistones

Para una carrera de 50 mm y un diámetro de embolo de 16 mm se utiliza un pistón 16X50, de doble efecto.

En la Figura 68 se indican las dimensiones de los marcos en los que se colocaran los pistones y en la Figura 69 se muestra el sistema completo.

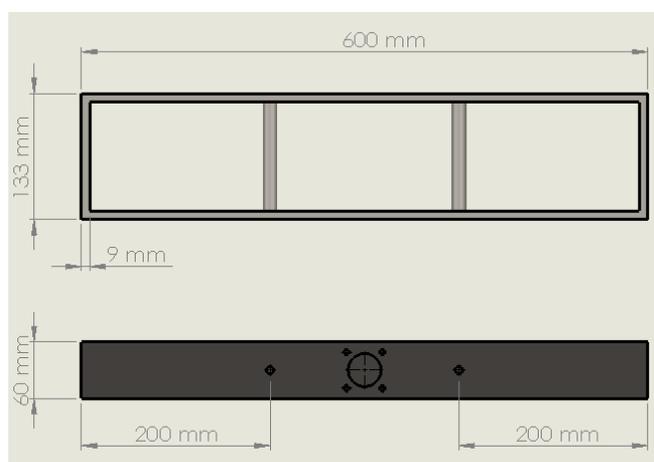


Figura 68. Dimensiones de los marcos para los pistones 50x16

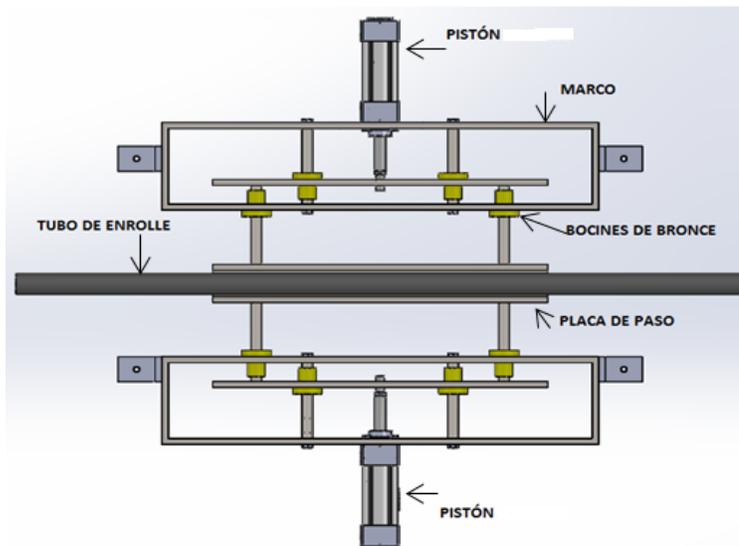


Figura 69. Sistema dosificador de tubos (vista superior)

4.11 SELECCIÓN DEL MOTOR DE ENROLLE

Primero se va a determinar el número de vueltas que debe girar el tubo de enrollado para que bobine 3 m de papel tinturado, para su resolución se utiliza la espiral de Arquímedes (Figura 70) y un método aproximado para determinar el número de vueltas para una cierta longitud, en la Tabla 19 se indican las propiedades del papel periódico.

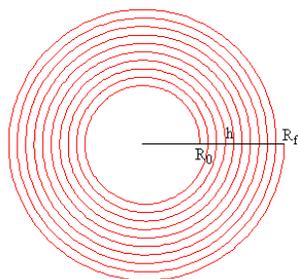


Figura 70. Espiral de Arquímedes

Fuente: (e-ducativa.catedu.es, 2015)

Tabla 19

Características papel periódico (espesor)

Característica	Unidad	Norma	Diario	Diario	Diario	Diario Salmón
Gramaje	g/m ²	Tappi 410	42.0	45.0	48.8	45.0
Espesor	micra	Tappi 411	70	79	86	79
Blancura	%	ISO 2470	56	56	56	-
CIE Lab a*	-	Tappi 527	-0.9	-0.9	-0.9	14.0
CIE Lab b*	-	Tappi 527	4.5	4.5	4.5	17.5
Opacidad	%	Tappi 519	92.0	92.5	94.5	92.0
Rugosidad	ml/min	ISO 5636-3	125	140	150	140

Fuente: (papelesbiobio.cl, 2015)

Se tiene un gramaje de 48.8 g/m² para el cual según la Tabla 19 corresponde un espesor de 86 micras.

Dónde:

R_i = radio inicial

R_f = radio final

R_m = radio medio

h = espesor del papel

N = número de vueltas

L = longitud

$$\phi_{tubo} = 33.4mm$$

$$R_i = \frac{\phi_{tubo}}{2}$$

$$R_i = \frac{33.4mm}{2}$$

$$R_i = 16.7mm = 0.0167m$$

$$R_m = \frac{R_i + R_f}{2}$$

$$N = \frac{R_f - R_i}{h}$$

$$L = N * 2\pi * R_m$$

$$L = \left(\frac{R_f - R_i}{h} \right) * 2\pi * \left(\frac{R_i + R_f}{2} \right)$$

$$L = \frac{2\pi}{2h} * (R_f - R_i) * (R_i + R_f)$$

$$\frac{Lh}{\pi} = R_f^2 - R_i^2$$

$$R_f = \sqrt{\frac{Lh}{\pi} + R_i^2}$$

$$R_f = \sqrt{\frac{(3m) * (86 * 10^{-6} m)}{\pi} + (0.0167m)^2}$$

$$R_f = \sqrt{(8.212 * 10^{-5} m^2) + (27.889 * 10^{-5} m^2)}$$

$$R_f = 0.019m$$

$$N = \frac{0.019m - 0.0167m}{86 * 10^{-6} m}$$

$$N = 26.74 = 27 \text{vuletas}$$

Ahora se sabe que para enrollar 3 m de papel tinturado el tubo de enrollado debe girar 27 veces.

Uno de los requerimientos del cliente es aumentar la producción mínimo en un 50% a su producción actual de 600 rollos en 8 horas, para lo cual se plantea un análisis para una producción de 1000 rollos en 8 horas, que viene a ser un 66.6% de aumento a la producción actual.

Si se tiene una producción de 1000 rollos en 8 horas, la máquina deberá tener la capacidad de hacer 2 rollos por minuto, en trabajo continuo.

$$\frac{1000\text{rollos}}{8\text{hora}} = 125 \frac{\text{rollos}}{\text{hora}}$$

$$\frac{125\text{rollos}}{60\text{min}} = 2.08 \frac{\text{rollos}}{\text{min}}$$

Esto indica que la máquina debe terminar un rollo en 30 segundos, el tiempo de enrolle tiene que ser menor a este ya que el rollo debe pasar por otros subsistemas de la máquina que también necesitan tiempo, por tal motivo se determina un tiempo de enrolle de 15 segundos.

Los 15 segundos es un tiempo de trabajo a velocidad constante, pero se debe tener en cuenta que este movimiento circular tiene una aceleración inicial que también necesita tiempo, por tal razón se disminuye el tiempo de enrolle a 12 segundos a velocidad constante y se deja 3 segundos para la aceleración inicial.

$$\frac{27\text{rev}}{12\text{s}} * \frac{60\text{s}}{1\text{min}} = 135\text{rpm}$$

El tubo de enrolle debe girar a 135 rpm como mínimo para cumplir con los requerimientos de producción.

En la Figura 71 se indica la relación de transmisión existente entre el tubo de enrolle y los rodillos conductor y conducido.

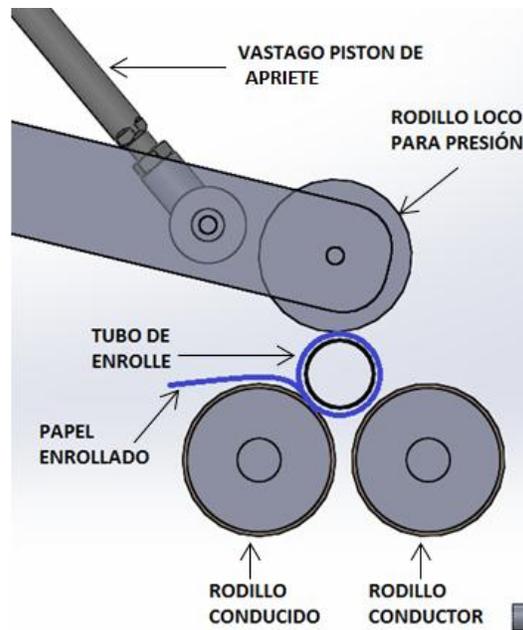


Figura 71. Rodillos del mecanismo de enrolle

Dónde:

w_1 = Velocidad de rodillo conductor

w_2 = Velocidad de tubo de enrolle

D_1 = Diámetro de rodillo conductor

D_2 = Diámetro de tubo de enrolle

$$w_1 * D_1 = w_2 * D_2$$

$$w_1 * 73mm = 135rpm * 33.4mm$$

$$w_1 = \frac{135rpm * 33.4mm}{73mm}$$

$$w_1 = 61.76rpm$$

$$w_1 = 61.76 \frac{rev}{min} = 6.46 \frac{rad}{s}$$

El rodillo debe tener el siguiente desplazamiento circular para cumplir con los 3 metros de enrollado:

Dónde:

N_1 = Número de vueltas tubo de enrollado

N_2 = Número de vueltas rodillo

R_i = radio inicial del rollo de papel tinturado

R_f = radio final del rollo de papel tinturado

r_1 = radio medio del rollo de papel tinturado

r_2 = radio del rodillo conductor

P = perímetro

$$r_1 = \frac{R_f + R_i}{2}$$

$$r_1 = \frac{19\text{mm} + 16.7\text{mm}}{2}$$

$$r_1 = 17.85\text{mm}$$

$$r_2 = 36.5\text{mm}$$

$$N_1 = 27\text{rev}$$

$$P = N_1 * 2\pi * r_1$$

$$P = 27 * 2\pi * 17.85\text{mm}$$

$$P = 3028\text{mm}$$

$$P = N_2 * 2\pi * r_2$$

$$N_2 = \frac{P}{2\pi * r_2}$$

$$N_2 = \frac{3028\text{mm}}{2\pi * 36.5\text{mm}}$$

$$N_2 = 13.2\text{rev}$$

$$N_2 = 13.2\text{rev} = 82.93\text{rad}$$

El rodillo debe tener un desplazamiento circular de 82.93 rad para enrollar los 3 metros de papel tinturado, a continuación se utiliza las formulas del movimiento circular uniforme y acelerado para determinar el tiempo total que tardará el enrollado del papel tinturado.

Se planteará un tiempo de aceleración de 5 segundos y una velocidad angular constante de 6.46 rad/s.

Dónde:

$w = \text{velocidad angular}$

$\alpha = \text{aceleración angular}$

$\theta = \text{desplazamiento angular}$

$t = \text{tiempo}$

$$w = w_o + (\alpha * t)$$

$$\alpha = \frac{w - w_o}{t}$$

$$\alpha = \frac{6.46 \frac{\text{rad}}{\text{s}} - 0}{5\text{s}}$$

$$\alpha = 1.292 \frac{\text{rad}}{\text{s}^2}$$

$$\theta = \theta_o + (w_o * t) + \left(\frac{1}{2} \alpha * t^2 \right)$$

$$\theta = 0 + 0 + \left(\frac{1}{2} * 1.292 \frac{\text{rad}}{\text{s}^2} * (5\text{s})^2 \right)$$

$$\theta = 16.15\text{rad}$$

$$\theta_{\text{total}} = \theta_{\text{ace}} + \theta_{\text{cte}}$$

$$\theta_{\text{cte}} = \theta_{\text{total}} - \theta_{\text{ace}}$$

$$\theta_{\text{cte}} = 82.93\text{rad} - 16.15\text{rad}$$

$$\theta_{\text{cte}} = 66.78\text{rad}$$

Durante el movimiento circular acelerado de 5 segundos se obtuvo un desplazamiento circular de 16.15 rad, a continuación se determina el tiempo que tardará en recorrer los 66.78 rad faltantes a una velocidad constante de 6,46 rad/s.

$$\theta = \theta_o + (w_o * t) + \left(\frac{1}{2} \alpha * t^2 \right)$$

$$\theta = 0 + (w_o * t) + 0$$

$$t = \frac{\theta}{w_o} = \frac{66.78 \text{ rad}}{6.46 \frac{\text{rad}}{\text{s}}}$$

$$t = 10.33 \text{ s}$$

Para el desplazamiento circular restante a velocidad constante se tiene un tiempo de 10.33 segundos.

$$t_{total} = t_{ace} + t_{cte}$$

$$t_{total} = 5 \text{ s} + 10.33 \text{ s}$$

$$t_{total} = 15.33 \text{ s}$$

Se obtuvo un tiempo de 15,33 segundos para que el rodillo bobine los 3 m de papel tinturado requeridos.

Una vez determinada la aceleración angular y velocidad angular del rodillo que permite cumplir con los requerimientos de producción se procede a determinar la potencia del motor eléctrico, para lo cual se calcula la inercia del rollo de papel periódico (materia prima).

Dónde:

$r_o = \text{radio inicial}$

$r_f = \text{radio final}$

$I = \text{inercia}$

$m = \text{masa}$

$$r_o = 0.038m$$

$$r_f = 0.650m$$

$$I = \frac{1}{2}m(r_f^2 - r_o^2)$$

$$I = \frac{1}{2} * 369kg * ((0.650m)^2 - (0.038m)^2)$$

$$I = 77.68kg \cdot m^2$$

Ya calculada la inercia se procede a encontrar el torque necesario para mover el rollo de materia prima pero con los valores de movimiento circular del rodillo ya que es el que estará conectado al motor

$$T = I * \alpha$$

$$T = 77.68kg \cdot m^2 * 1.292 \frac{rad}{s^2}$$

$$T = 100.36N \cdot m$$

Para romper la inercia del rollo de materia prima se necesita un torque de 100.36 Nm, con este valor se calcula la potencia que debe tener el motor.

$$P = T * \omega$$

$$P = (100.36Nm) * 6.46 \frac{rad}{s}$$

$$P = 648.38Watts = 0.87hp$$

Se obtuvo como resultado una potencia de 0.87 hp pero por motivos comerciales se utilizará un motor de 1 hp de potencia.

A continuación se selecciona la caja reductora, para esto se utiliza un catálogo virtual de la marca VARVEL, en la Figura 72 se indica la configuración utilizada para la selección del motor y la caja reductora en el catálogo virtual, en la Figura 4.73 se muestra el modelo CAD del motor generado por el catálogo virtual.

Dónde:

$w_1 = \text{velocidad angular del motor}$

$w_2 = \text{velocidad angular deseada}$

$i = \text{relación de velocidad}$

$$w_1 = 1700rpm$$

$$w_2 = 62rpm$$

$$i = \frac{w_1}{w_2} = \frac{1700rpm}{62rpm} = 27.41$$

Input type	M
Gearbox type	RT
Gearbox size	50
Version	B3
Reduction ratio	28
Input version	IEC
Electric motor frame	71 B5
Output Shaft	AC 24
Standard options (STD)	
Input shaft module	(none)
Torque arm	
NDE wormshaft	VB <input type="checkbox"/>
Motor Designation	
Electric motor type	MT
Motor power	0,75 kW
Motor size	71 C2
Motor form	B5
Terminal box position	X1
<input type="button" value="Restart"/> <input type="button" value="Next"/>	

Figura 72. Catálogo virtual VARVEL

Fuente: (varvel.com, 2015)

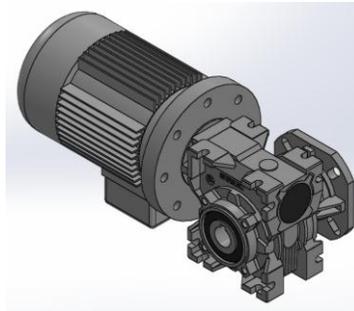


Figura 73. Motor de 1hp con caja reductora #50 VARVEL (TechDesing Quito)

Fuente: (varvel.com, 2015)

Se ha determinado un motor de 1 hp de potencia con una caja reductora de tamaño 50 con una relación de velocidad de 28, con brida de sujeción.

4.12 DISEÑO DEL EJE DEL RODILLO DE ENROLLE

Este eje pertenece al rodillo de enrollado y estará conectado al motor eléctrico mediante un acoplamiento mecánico, (Figura 74), a más de transmitir movimiento deberá soportar la carga distribuida que ejerce sobre este el rodillo de apriete que está conectado a un pistón 16X50, el pistón ejerce una fuerza de 27.1 lbf que para efectos de diseño se asume como el peso distribuido del eje y es transmitida verticalmente en su totalidad al eje, considerando el peor de los casos.

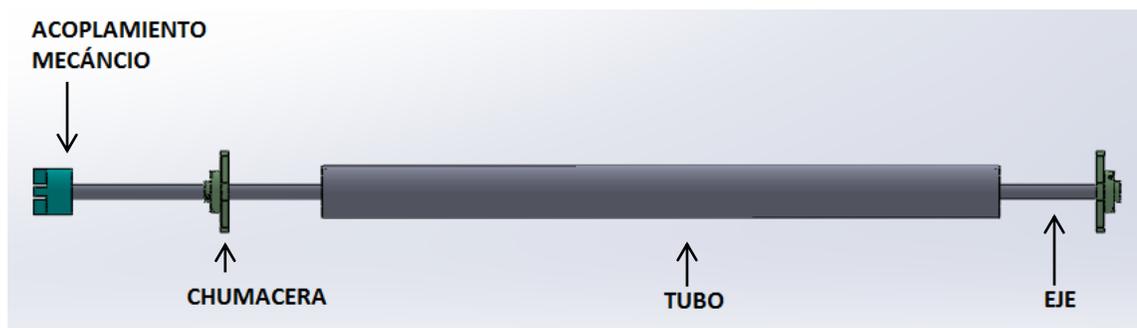


Figura 74. Rodillo de enrollado

$$F = 27.1\text{ lbf} = 120.27\text{ N}$$

$$c.d. = \frac{F}{d}$$

$$c.d. = \frac{120.27\text{ N}}{0.94\text{ m}} = 127.94 \frac{\text{N}}{\text{m}}$$

El eje estará conectado al motor de 1 hp de potencia (746 W), con caja reductora de tamaño 50 y con una relación de transmisión de 28, partiendo de esta premisa se determina la velocidad angular de salida y el par de torsión del sistema.

Dónde:

$i = \text{relación de transmisión}$

$H = \text{potencia del motor}$

$T_f = \text{torsor final}$

$w_f = \text{velocidad angular final}$

$T_i = \text{torsor inicial}$

$w_i = \text{velocidad angular inicial}$

$$i = \frac{w_i}{w_f}$$

$$w_f = \frac{w_i}{i} = \frac{1700\text{ rpm}}{28}$$

$$w_f = 60.71\text{ rpm} = 6.36 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$$H = T_i w_i = T_f w_f$$

$$H = T_f * w_f$$

$$T_f = \frac{H}{w_f} = \frac{746\text{ W}}{6.36 \frac{\text{rad}}{\text{s}}}$$

$$T_f = 117.29\text{ Nm}$$

Debido a la rotación y al contacto aparece una fuerza de rozamiento que equilibrará al torque generado por el motor (Figura 75), esta fuerza se calcula utilizando la ecuación de *dinámica de rotación alrededor de un eje que pasa por el centro de masa*, en cálculos anteriores se determinó una aceleración angular de 1.3 rad/s^2

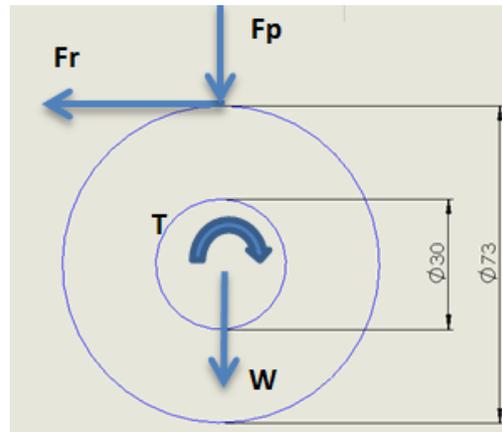


Figura 75. Fuerzas que actúan en el rodillo

$$(Fr * R) - T = I_c * \alpha$$

Dónde:

Fr = fuerza de rozamiento

r = radio menor

R = radio mayor

T = torsor

α = aceleración angular

I_e = inercia del eje

I_t = inercia del tubo

I_c = inercia

$$R = \frac{73mm}{2} = 0.0365m$$

$$r = \frac{30mm}{2} = 0.015m$$

$$m_{tubo} = 8.16kg$$

$$m_{eje} = 18.4kg$$

$$\alpha = 1.3 \frac{rad}{s^2}$$

$$T = 117.3Nm$$

$$I_e = \frac{m * r^2}{2} = \frac{18.84kg * (0.015m)^2}{2} = 0.00211kgm^2$$

$$I_t = \frac{m}{2} (R^2 + r^2) = \frac{8.16kg}{2} * ((0.0365m)^2 + (0.0315m)^2) = 0.00929kgm^2$$

$$I_c = I_e + I_t$$

$$I_c = 0.0021kgm^2 + 0.00929kgm^2 = 0.0114kgm^2$$

$$(Fr * R) - T = I_c * \alpha$$

$$(-Fr * 0.0365m) + 117.3Nm = 0.0114kgm^2 * 1.3 \frac{rad}{s^2}$$

$$-Fr = \frac{0.00706Nm - 117.3Nm}{0.0365m} = -3213.3N$$

$$Fr = 3213.3N$$

$$c.d. = \frac{Fr}{0.94m} = 3418.3 \frac{N}{m}$$

Una vez conocidas las cargas distribuidas que actúan en el eje, se realiza el diagrama de cuerpo libre en el plano zx y zy (Figura 77, Figura 78) para hallar el momento máximo, en la Figura 76 se indican las distancias del eje.

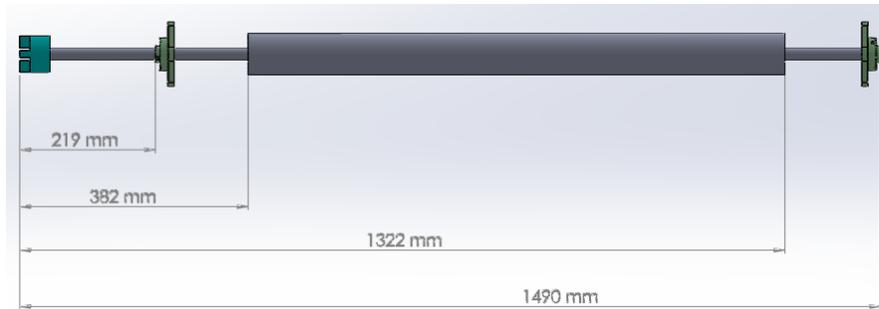


Figura 76. Elementos y distancias del eje

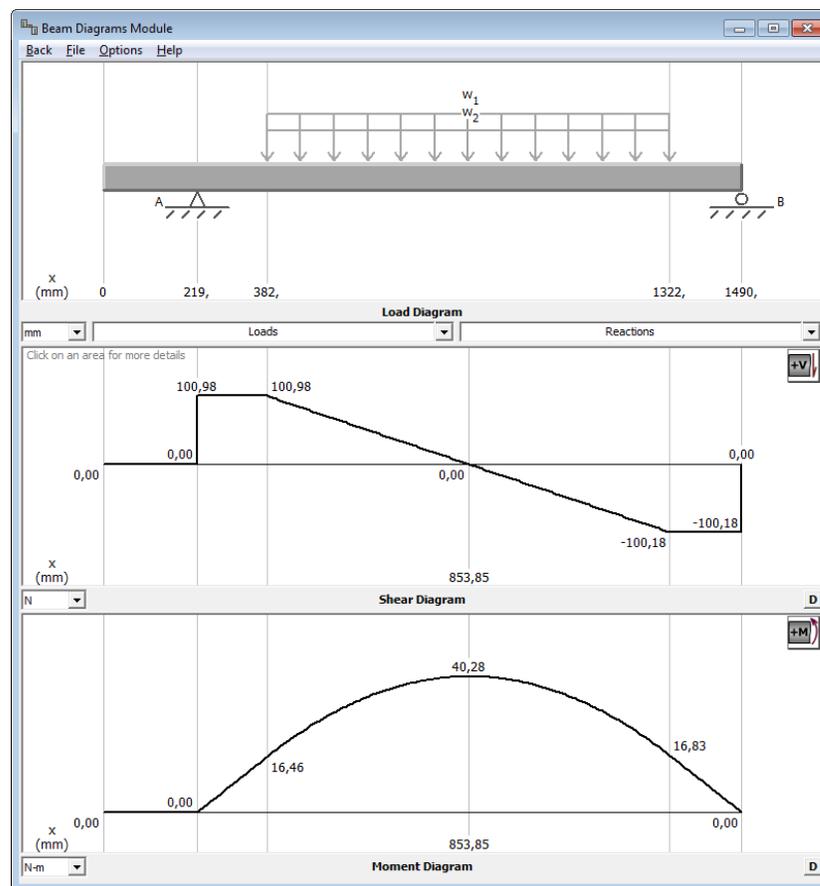


Figura 77. Diagrama momentos y cortante plano YZ

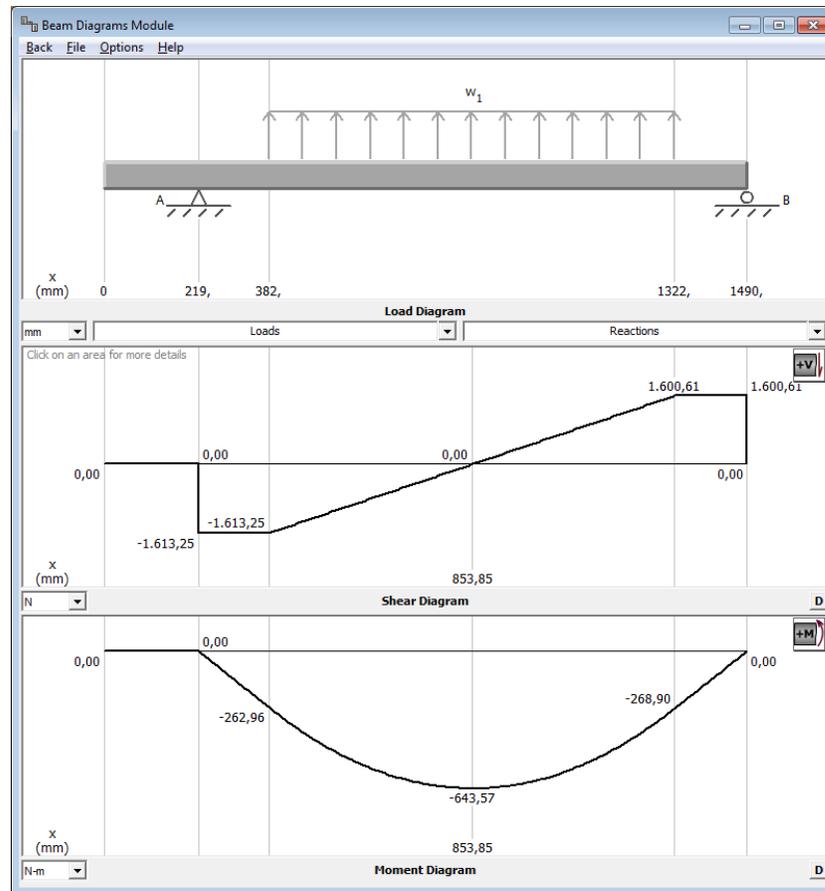


Figura 78. Diagrama momentos y cortante plano XZ

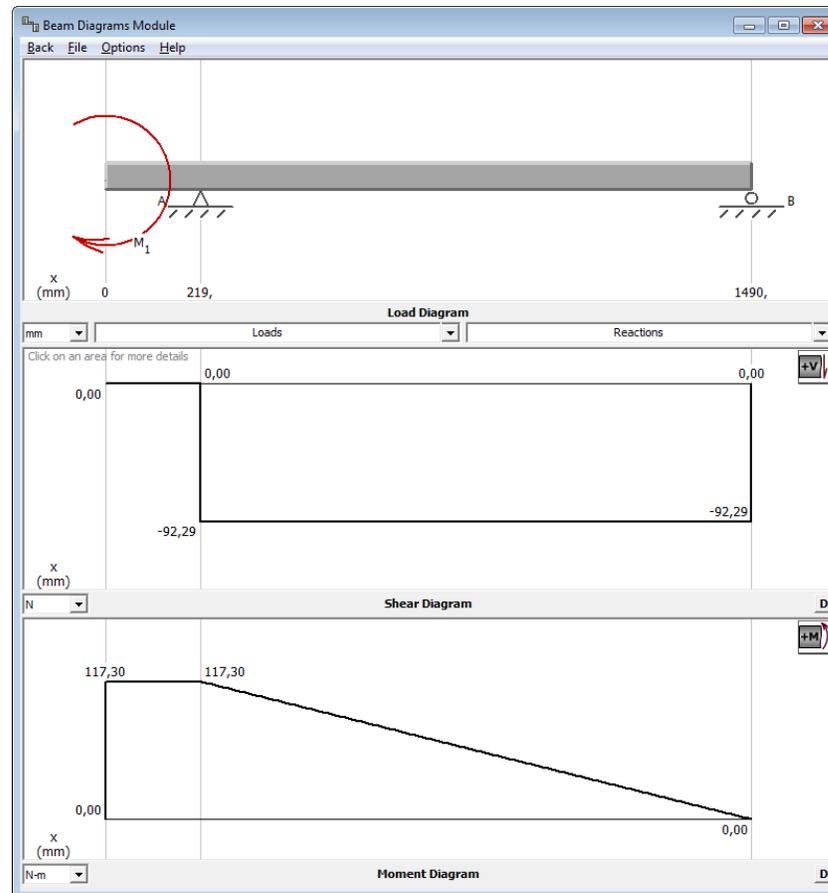


Figura 79. Diagrama del par de torsión

De las gráficas obtenemos los siguientes valores

$$M_{zy} = 40.28 Nm$$

$$M_{zx} = 643.57 Nm$$

$$M_{crítico} = \sqrt{(40.28 Nm)^2 + (643.57)^2}$$

$$M_{crítico} = 644 Nm$$

Se inicia en el punto donde el momento flexionante es alto.

$$M_a = 644 Nm$$

$$T_m = 117.29 Nm$$

$$M_m = T_a = 0$$

Se estima los siguientes valores para las constantes K

$$K_t = 1.7$$

$$K_{ts} = 1.5$$

$$K_f = K_t$$

$$K_{fs} = K_{ts}$$

El material a utilizar será acero inoxidable ASTM 304, por motivos de estética y durabilidad ya que no genera residuos de óxido. Su valor de última resistencia a la tensión es 568 MPa y los valores de los factores modificadores de Marín son:

$$k_a = a * Sut^b$$

$$k_a = 0.839$$

Considere que:

$$k_b = 0.9$$

$$k_c = k_d = k_e = 1$$

Una vez que se tienen dichos valores modificadores, es aplicable la ecuación de Marín.

$$Se = k_a * k_b * k_c * k_d * k_e * k_f * Se'$$

$$Se = 0.839 * 0.9 * \frac{568}{2}$$

$$Se = 214.79 MPa$$

Se utilizó el criterio de ED-Goodman, y cuya ecuación es la siguiente.

$$d = \left(\frac{16n}{\pi} \left\{ \frac{1}{Se} \left[4(K_f M_a)^2 + 3(K_{fs} T_a)^2 \right]^{1/2} + \frac{1}{Sut} \left[4(K_f M_m)^2 + 3(K_{fs} T_m)^2 \right]^{1/2} \right\} \right)^{1/3}$$

Dónde:

d = Diámetro del eje

n = Factor de seguridad

S_e = Límite de resistencia a la fatiga

M_a = Momento alternante

M_m = Momento medio

T_a = Torsor alternante

T_m = Torsor medio

Este criterio es bueno para el diseño inicial, puesto que es simple y conservador. Con:

$$M_m = T_a = 0$$

La ecuación se reduce a la siguiente expresión:

$$d = \left(\frac{16n}{\pi} \left\{ \frac{2(K_f M_a)}{S_e} + \frac{[3(K_{fs} T_m)^2]^{1/2}}{S_{ut}} \right\} \right)^{1/3}$$

$$d = \left(\frac{16(1.5)}{\pi} \left\{ \frac{2(1.7)(644Nm)}{214.79MPa} + \frac{[3((1.5)(117.29Nm))^2]^{1/2}}{568MPa} \right\} \right)^{1/3}$$

$$d = (7.63 * (101.94 * 10^{-7} m^3 + 5.364 * 10^{-7} m^3))^{1/3}$$

$$d = 0.0434m = 43.4mm$$

Por motivos comerciales se aproxima el diámetro a 45mm, el diámetro de hombro es de 73 mm.

Se encuentran los valores K_f y K_{fs} para hallar los valores del esfuerzo medio y alternante respectivamente, cuyas ecuaciones se muestran a continuación.

Dónde:

k_f = factor de concentración de esfuerzo flector

k_{fs} = factor de concentración de esfuerzo torsor

$kt =$ constante de flexión

$kts =$ constante de torsión

$q =$ sensibilidad a la muesca (flexión)

$qcort =$ sensibilidad a la muesca (torsión)

$$K_f = 1 + q(K_t - 1)$$

$$K_f = 1 + 0.9*(1.7 - 1)$$

$$K_f = 1.63$$

$$K_{fs} = 1 + q_{cort}(K_{ts} - 1)$$

$$K_{fs} = 1 + 0.92(1.5 - 1)$$

$$K_{fs} = 1.46$$

De esta manera se comprueban los factores de Marín que en la iteración primera se asumieron y hallar el verdadero valor de Se.

Se procede a hallar los valores para los esfuerzos de Von Mises para ejes giratorios.

$$\sigma'_a = (\sigma_a^2 + 3\tau_a^2)^{1/2}$$

$$\sigma'_a = \left[\left(\frac{32K_f M_a}{\pi d^3} \right)^2 + \left(\frac{16K_{fs} \tau_a}{\pi d^3} \right)^2 \right]^{1/2}$$

$$\sigma'_a = \left[\left(\frac{32(1.63)(644)}{\pi(0.0730m)^3} \right)^2 \right]^{1/2}$$

$$\sigma'_a = 27.5MPa$$

$$\begin{aligned}\sigma'_m &= (\sigma_m^2 + 3\tau_m^2)^{1/2} \\ \sigma'_m &= \left[\left(\frac{32K_f M_m}{\pi d^3} \right)^2 + \left(\frac{16K_{fs} \tau_m}{\pi d^3} \right)^2 \right]^{1/2} \\ \sigma'_m &= \left[\left(\frac{16(1.46)(117.29Nm)}{\pi(0.0730m)^3} \right)^2 \right]^{1/2} \\ \sigma'_m &= 2.24MPa\end{aligned}$$

Así, se puede encontrar los factores de seguridad para fatiga y fluencia respectivamente. Se aplica el criterio de Goodman modificado.

$$\begin{aligned}\frac{1}{n_f} &= \frac{\sigma'_a}{Se} + \frac{\sigma'_m}{Sut} \\ \frac{1}{n_f} &= \frac{27.5 * 10^6}{214.79 * 10^6} + \frac{2.24 * 10^6}{568 * 10^6} \\ n_f &= 7.55\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}n_y &= \frac{S_y}{\sigma'_{max}} \\ n_y &= \frac{276 * 10^6}{29.74 * 10^6} \\ n_y &= 9.2\end{aligned}$$

4.13 SELECCIÓN DE CHUMACERAS PARA EL RODILLO DE ENROLLE

Para los casos anteriores de selección de chumaceras se utilizó únicamente el criterio de geometría debido a que los rodillos que soportarán estas, trabajarán a bajas revoluciones, pero para el caso del rodillo de enrolle, que es el rodillo principal y está conectado a un motor, se emplea un análisis dinámico (Figura 77 y Figura 78).

Apoyo A

$$R_{ax} = 1613.25N$$

$$R_{ay} = 100.98N$$

$$F_{ra} = 1616.15N = P$$

Ahora se determina la carga dinámica:

$$C = \frac{f_L}{f_n * f_H} * P$$

Dónde:

$f_L = 4$ Para sistemas de transmisión con motores de tipo medio

$f_n = 0.8$ Para cojinetes de bolas y $n = 62 \text{ rpm}$

$f_H = 1$ Temperatura de servicio menor a 120°C

$$C = \frac{4}{0.8 * 1} * 1616.15N$$

$$C = 8080.75N$$

Apoyo B

$$R_{bx} = 1600.61N$$

$$R_{by} = 100.18N$$

$$F_{rb} = 1603N$$

$$C = \frac{4}{0.8 * 1} * 1603N$$

$$C = 8015N$$

Finalmente se decide que el soporte tensor a usar en las dos posiciones y que satisface los datos calculados es una chumacera UCFL 209. (ANEXO A)

$$D = 45$$

$$C = 31850N$$

4.14 SELECCIÓN DEL MOTOR DE ENROLLE FINAL

Este motor es el encargado de mover dos rodillos de la parte final del proceso, los cuales enrollaran el papel sobrante del rollo de papel tinturado luego de haber sido cortado.

Para este sistema no es importante la velocidad a la que giren los rodillos, solo se necesita el movimiento giratorio, por tal razón el motor irá sin caja reductora con su velocidad nominal de trabajo de 1700 rpm.

Se calcula la potencia necesaria para mover los rodillos:

$$m_{tubo} = 8.11kg$$

$$m_{total} = 2 * m_{tubo}$$

$$m_{total} = 16.22kg$$

Se determina la inercia de los rodillos:

$$r_f = 0.073m$$

$$r_i = 0.0626m$$

$$I = \frac{1}{2} m (r_f^2 - r_i^2)$$

$$I = \frac{1}{2} * 16.22kg * ((0.073)^2 - (0.0626)^2)$$

$$I = 0.0114kg * m^2$$

Se plantea un tiempo de aceleración de 3 segundos para hallar la aceleración angular:

$$\alpha = \frac{w - w_o}{t}$$

$$\alpha = \frac{178 \frac{rad}{s} - 0}{3}$$

$$\alpha = 59.33 \frac{rad}{s}$$

Con la aceleración angular y la inercia se calcula el torque.

$$T = I * \alpha$$

$$T = (0.0114 kg * m^2) * (59.33 \frac{rad}{s^2})$$

$$T = 0.682 N * m$$

Una vez que se obtiene el torque se determina la potencia requerida.

$$w = 1700 \frac{rev}{min} = 178.02 \frac{rad}{s}$$

$$P = T * w$$

$$P = (0.682 N * m) * (178.02 \frac{rad}{s})$$

$$P = 121.4 W = 0.16 hp$$

Se requiere de una potencia de 0.16 hp para mover los dos rodillos, por motivos comerciales se selecciona un motor de 0.25 hp.

4.15 DISEÑO DEL EJE DEL RODILLO DE ENROLLE FINAL

Este rodillo es el encargado de enrollar la parte final del rollo de papel tinturado después de haber sido cortado, se siguen los mismos pasos utilizados en el eje del rodillo de enrolle con la diferencia de que este estará conectado al motor de 0.25 hp (187 W) que irá sin caja reductora, y la única carga distribuida que posee es el peso del tubo (85N/m).

Dónde:

H = potencia del motor

T_f = torsor final

w_f = velocidad angular final

T_i = torsor inicial

w_i = velocidad angular inicial

$$w_f = 1700rpm = 178.02 \frac{rad}{s}$$

$$H = T_i w_i = T_f w_f$$

$$H = T_f w_f$$

$$T_f = \frac{H}{w_f} = \frac{187W}{178.02 \frac{rad}{s}}$$

$$T_f = 1.05Nm$$

En la Figura 79 se indican sus distancias

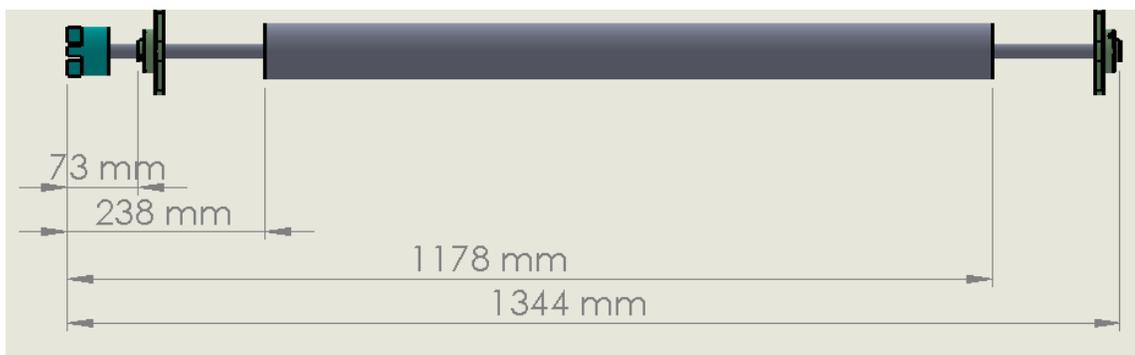


Figura 79. Distancias del eje de enrollado final

Con los datos obtenidos se procede a realizar un análisis del diagrama de cuerpo libre para obtener las fuerzas de reacción en las chumaceras, (Figura 80 y Figura 81).

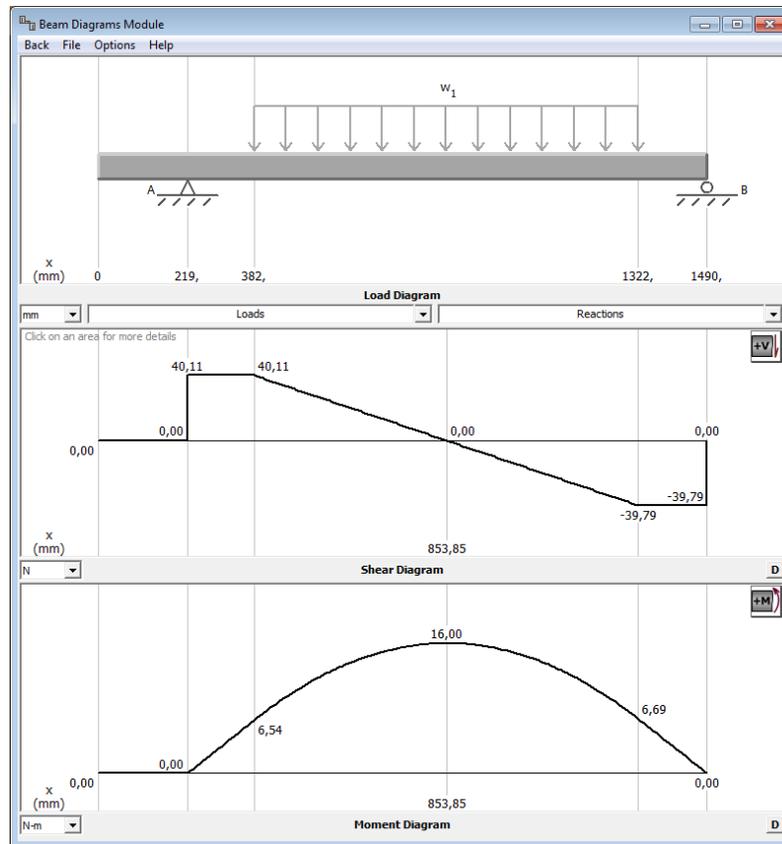


Figura 80. Diagrama de momentos y cortante plano ZY (eje enrollado final)

$$M_{zy} = 16Nm = Ma$$

Se obtuvo un momento crítico de 6.53 Nm, como en el caso anterior se hacen las siguientes consideraciones:

$$M_a = 16Nm$$

$$T_m = 1.05Nm$$

$$M_m = T_a = 0$$

Se utiliza las mismas constantes del diseño del eje del rodillo de enrollado:

$$K_t = 1.7$$

$$K_{ts} = 1.5$$

$$K_f = K_t$$

$$K_{fs} = K_{ts}$$

$$k_a = a * Sut^b$$

$$k_a = 0.839$$

Considere que:

$$k_b = 0.9$$

$$k_c = k_d = k_e = 1$$

Una vez que se tienen dichos valores modificadores, es aplicable la ecuación de Marín.

$$Se = k_a * k_b * k_c * k_d * k_e * k_f * Se'$$

$$Se = 0.839 * 0.9 * \frac{568}{2}$$

$$Se = 214.79 MPa$$

Se utilizó el criterio de ED-Goodman, cuya ecuación es la siguiente.

$$d = \left(\frac{16n}{\pi} \left\{ \frac{1}{Se} \left[4(K_f M_a)^2 + 3(K_{fs} T_a)^2 \right]^{\frac{1}{2}} + \frac{1}{Sut} \left[4(K_f M_m)^2 + 3(K_{fs} T_m)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right\} \right)^{\frac{1}{3}}$$

Dónde:

d = diámetro del eje

n = factor de seguridad

Se = Límite de resistencia a la fatiga

Ma = Momento alternante

Mm = Momento medio

$T_a = \text{Torsor alternante}$

$T_m = \text{Torsor medio}$

Este criterio es bueno para el diseño inicial, puesto que es simple y conservador. Con:

$$M_m = T_a = 0$$

La ecuación se reduce a la siguiente expresión:

$$d = \left(\frac{16n}{\pi} \left\{ \frac{2(K_f M_a)}{S_e} + \frac{[3(K_{fs} T_m)^2]^{1/2}}{S_{ut}} \right\} \right)^{1/3}$$

$$d = \left(\frac{16(1.5)}{\pi} \left\{ \frac{2(1.7)(16Nm)}{214.79MPa} + \frac{[3((1.5)(1.05Nm))^2]^{1/2}}{568MPa} \right\} \right)^{1/3}$$

$$d = (7.63 * (2.53 * 10^{-7} m^3 + 0.1375 * 10^{-7} m^3))^{1/3}$$

$$d = 0.0122m = 12.2mm$$

Como resultado se tiene un eje de 12.2 mm de diámetro pero debido a las especificaciones para realizar perforaciones en un eje se utiliza un eje de 20 mm de diámetro para utilizar prisioneros de 6 mm en las chumaceras (similar al caso antes estudiado).

4.16 SELECCIÓN DE CATALINAS PARA EL SISTEMA DE CORTE

El sistema de corte funciona con un motor de 0.25 hp el cual tiene una catalina conductora y dos catalinas conducidas, por las cuales se mueve una cadena de paso 40, la cual lleva una cuchilla para cortar el papel una vez que se haya enrollado el largo programado, Figura 82.

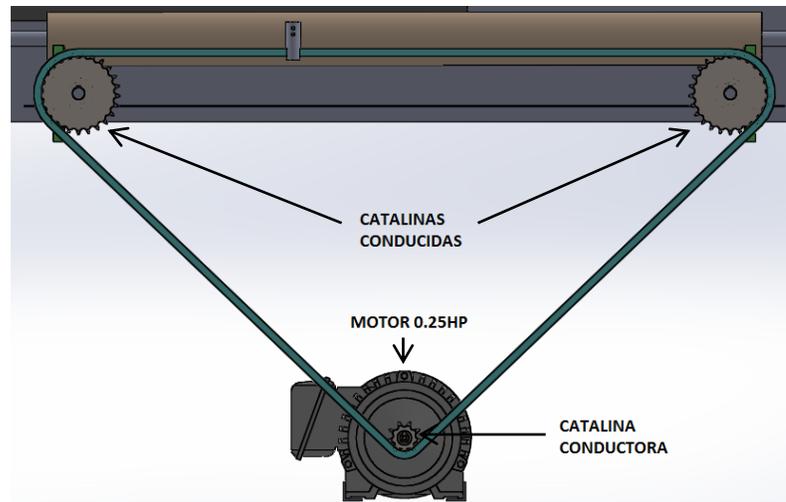


Figura 81. Catalinas del sistema de corte

El sistema de catalinas es un sistema reductor de velocidad, se ha seleccionado una catalina conductora de 9 dientes y las catalinas conducidas serán de 25 dientes.

Dónde:

w_1 = velocidad angular de entrada

w_2 = velocidad angular transmitida

Z_1 = número de dientes catalina conductora

Z_2 = número de dientes catalina conducida

$$w_1 = 1700 \text{rpm}$$

$$Z_1 = 9$$

$$Z_2 = 25$$

$$\frac{w_1}{w_2} = \frac{Z_2}{Z_1}$$

$$w_2 = 1700 * \frac{9}{25} = 612 \frac{\text{rev}}{\text{min}} = 64 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

Con el sistema reductor se obtiene una velocidad de salida de 612 rpm (64 rad/s).

CAPITULO V

DISEÑO ELÉCTRICO Y DE CONTROL

5.1 REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA

En los requerimientos del sistema se detalla los elementos eléctricos y de control necesarios para solucionar las necesidades del cliente.

5.1.1 REQUERIMIENTOS ELÉCTRICOS

- El cliente en su planta posee alimentación trifásica para sus procesos, por tal razón se solicitó que la presente máquina sea diseñada para trabajar con voltaje trifásico.
- Actuadores eficientes y compactos.
- Protecciones eléctricas para los actuadores (motores).
- Protecciones eléctricas para el tablero eléctrico.

5.1.2 REQUERIMIENTOS DE CONTROL

- El proceso debe ser automático (PLC).
- Sensores
- Electroválvulas
- Un HMI para que el operario pueda modificar los parámetros de trabajo de la máquina.
- Control de temperatura independiente para el horno.
- Variador de frecuencia para el motor principal (motor de 1hp).

5.2 SELECCIÓN DE LOS MOTORES ELÉCTRICOS

Se trabajará con motores trifásicos ya que son eficientes, estables, seguros y compactos, además la planta posee conexión trifásica para el funcionamiento de sus máquinas.

La potencia de los motores fue analizada en el capítulo mecánico donde se determinó un motor de 1hp para el proceso de enrolle y 2 motores de 0.25hp para el proceso de corte y de enrolle final.

El motor de 1 hp es el único que necesita caja reductora, la cual fue seleccionada para una velocidad nominal de trabajo de 1700 rpm, los motores fueron seleccionados del catálogo virtual de VARVEL, en la Tabla 20 se muestran sus características técnicas.

Tabla 20

Datos técnicos de los motores seleccionados (Catálogo virtual VARVEL)

	Motor Trifásico (Enrolle)	Motor Trifásico (Enrolle final y Corte)
Marca	Motive	Motive
Tipo	71B5	56B2
Caja reductora	50B28	-
Alimentación	Trifásica	Trifásica
Potencia	0.74 kW (1 hp)	0.14 kW (0.25 hp)
Voltaje	220 V – 380 V	220V – 380V
Velocidad nominal	1700 rpm	1700 rpm
Corriente nominal	2.9 A	0.9 A
Frecuencia	60 Hz	60 Hz
Eficiencia	64%	63.6%
Cos Φ	0.69	0.69

Fuente: (varvel.com, 2015)

5.3 CONEXIÓN DE LOS BORNES EN LA CAJA DE LOS MOTORES

Los bornes en la caja se pueden conectar en conexión estrella o en conexión delta, atendiendo a las condiciones siguientes:

- La primera tensión que se indica en la placa de características corresponde a la tensión nominal a que puede trabajar el bobinado del motor.
- Con tensión de red $U_L=220\text{ V}$, un motor que en su placa de características indique $U=220/380\text{ V}$, se conectará en conexión delta, ya que la tensión menor de la placa es igual a la tensión de red.

$$U_l = U_f = 220\text{ V}$$

- Con tensión de red de $U_L=380\text{V}$, un motor que en su placa de características se indique $U=220/380\text{ V}$, se conectará en conexión estrella, ya que la tensión menor de la placa es igual a la tensión de la red dividido para $\sqrt{3}$.

$$\frac{U_l}{\sqrt{3}} = U_f = 220\text{ V}$$

$$\frac{U_l}{\sqrt{3}} = \frac{380}{\sqrt{3}} = 220\text{ V}$$

Para el motor de 1 hp como para los 2 motores de 0.25 hp, estarán conectados en conexión delta, ya que la tensión de red es de 220 V trifásica.

5.4 CÁLCULO DE PROTECCIONES PARA LOS MOTORES

Para el cálculo de las protecciones de los motores trifásicos es necesario aplicar la siguiente fórmula:

$$P = \sqrt{3} * I * V * \cos\theta$$

Con la cual podremos determinar la corriente de trabajo.

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} * V * \cos\theta}$$

Motor de 1 hp:

$$I = \frac{740\text{W}}{\sqrt{3} * 220\text{V} * 0.69} = 2.81\text{A}$$

Motor de 0.25 hp:

$$I = \frac{140W}{\sqrt{3} * 220V * 0.69} = 0.53A$$

Con base en las corrientes calculadas podremos seleccionar los dispositivos de protección eléctrica.

5.5 MECANISMOS DE PROTECCIÓN Y SEGURIDAD

En todo circuito de motores debe existir al menos:

- Un elemento que garantice el seccionamiento o la apertura del circuito, (interruptor)
- Una protección automática contra cortocircuitos, (fusibles).
- Un dispositivo para maniobras, (contactor).
- Una protección contra sobre cargas, (relé térmico, variador de frecuencia).

5.5.1 INTERRUPTOR

El interruptor tiene la función de aislar una parte de la instalación, de la fuente de alimentación de energía eléctrica y precede a todo el circuito eléctrico, Figura 83.

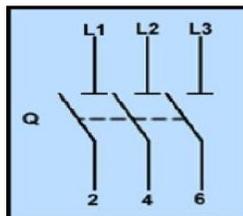


Figura 82. Simbología normalizada de un seccionador

Fuente: (nichese.com, 2015)

5.5.2 FUSIBLES

El fusible es un dispositivo utilizado para proteger dispositivos eléctricos y electrónicos, este permite el paso de la corriente mientras que esta no supere un valor establecido, si el valor de corriente que pasa es superior a este, el fusible se derrite, se abre el circuito y no pasa corriente, Figura 84.

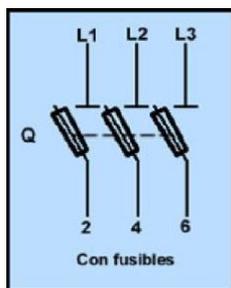


Figura 83. Simbología normalizada de un seccionador con fusibles

Fuente: (nichese.com, 2015)

5.5.3 CONTACTOR

El contactor es un interruptor accionado por medio de un electroimán que permite muy diversas formas de maniobra, Figura 85.

El contactor se divide en tres partes fundamentales en los que a los componentes eléctricos se refiere:

- Contactos de potencia a través de los cuales se alimenta el circuito de potencia.
- Contactos auxiliares utilizados para el gobierno y control del electroimán y de otros elementos del circuito.
- Electroimán, elemento electromecánico que acciona a los contactos de potencia y maniobra auxiliares.

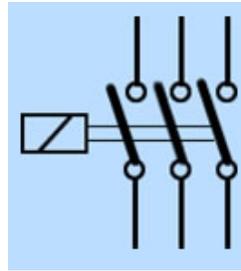


Figura 84. Simbología normalizada de un contactor

Fuente: (nichese.com, 2015)

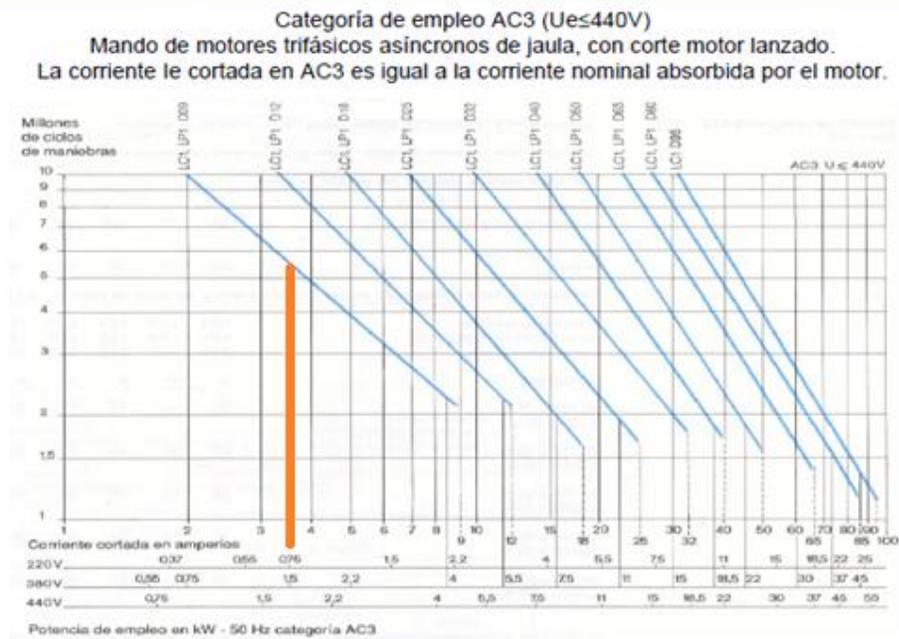
5.5.3.1 DIMENSIONAMIENTO DE CONTACTORES

Utilizando la Tabla 21 se puede dimensionar correctamente un contactor trifásico.

Tabla 21

Dimensionamiento de contactores

ELECCIÓN DE CONTACTORES TRIPOLAR EN FUNCIÓN DE LA DURABILIDAD ELÉCTRICA



Fuente: (nichese.com, 2015)

En la Tabla 21 se ingresa con el voltaje de funcionamiento de 220 V trifásicos y con la potencia de trabajo de 0.75 kW, teniendo como resultado un contactor LC1-LP1-D09 de categoría AC3.

5.5.4 RELÉ TÉRMICO

El relé térmico es un elemento que protege al receptor contra sobreintensidades que siempre son inferiores a las intensidades de cortocircuito y que de tener una duración en el tiempo, podrían ser causa de riesgo de avería para el receptor, Figura 86.

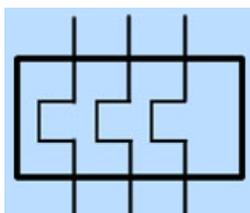


Figura 85. Simbología normalizada de un relé térmico

Fuente: (nichese.com, 2015)

5.5.4.1 REGULACIÓN Y SELECCIÓN DE RELÉS TÉRMICOS

Para determinar el valor del relé de sobrecarga se debe tener en cuenta el valor del factor de servicio de la máquina.

La norma NEMA MG-1 es la que define el factor de servicio para motores y generadores, en la Tabla 22 el factor de servicio se asocia a cada potencia y velocidad.

Tabla 22

Factor de servicio de la norma NEMA MG-1

Hp	Service Factor					
	Synchronous Speed, Rpm					
	3600	1800	1200	900	720	600
1/20	1.4	1.4	1.4	1.4	...	...
1/12	1.4	1.4	1.4	1.4	...	...
1/8	1.4	1.4	1.4	1.4	...	...
1/6	1.35	1.35	1.35	1.35	...	...
1/4	1.35	1.35	1.35	1.35	...	...
1/3	1.35	1.35	1.35	1.35	...	...
1/2	1.25	1.25	1.25	1.15*	...	...
3/4	1.25	1.25	1.15*	1.15*	...	...
1	1.25	1.15*	1.15*	1.15*	...	...
1-1/2-125	1.15*	1.15*	1.15*	1.15*	1.15*	1.15*
150	1.15*	1.15*	1.15*	1.15*	1.15*	1.15*
200	1.15*	1.15*	1.15*	1.15*	1.15*	...
250	1.0	1.15*	1.15*	1.15*	...	...

Fuente: (nichese.com, 2015)

El relé térmico solo se utilizará en los motores de 0.25 hp, el motor de 1 hp estará conectado a un variador de frecuencia.

Para una potencia de 0.25 hp y una velocidad de 1800 rpm se tiene un factor de servicio de 1.35.

La corriente de regulación del relé térmico se lo determina con la siguiente ecuación:

$$I_r = I_n * F_s$$

Dónde:

I_r = Corriente de regulación

I_n = Corriente nominal o corriente calculada

F_s = Factor de servicio

$$I_r = 0.53A * 1.35$$

$$I_r = 0.72A$$

La corriente de regulación es de 0.72 A, se seleccionó un relé térmico 3SR8-D1305 del catálogo de relés térmicos de la marca SASSIN, (Tabla 23)

Tabla 23

Catálogo de relés térmicos SASSIN

Serie 3SR8-D

Intensidad (A)	Familia de contactor	Código de pedido
0,1...0,16		3SR8-D1301
0,16...0,25		3SR8-D1302
0,25...0,4		3SR8-D1303
0,4...0,63		3SR8-D1304
0,63...1		3SR8-D1305
1...1,6		3SR8-D1306
1,25...2		3SR8-D136X
1,6...2,5	3SC8-09...25	3SR8-D1307
2,5...4		3SR8-D1308
4...6		3SR8-D1310
5,5...8		3SR8-D1312
7...10		3SR8-D1314
9...13		3SR8-D1316
12...18		3SR8-D1321
17...25		3SR8-D1322
23...32		3SR8-D2353
28...32	3SC8-32	3SR8-D2355
23...32		3SR8-D3353
30...40		3SR8-D3355

Fuente: (grupogemidi.es, 2015)

5.5.5 VARIADOR DE FRECUENCIA

El variador de frecuencia o velocidad (Figura 87) es un convertidor de energía cuya misión es controlar la energía entregada al motor, se utiliza en motores asíncronos de jaula de ardilla, sus características permiten:

- Aceleración progresiva
- Desaceleración progresiva. Más rápida de la natural añadiendo par de frenado, o más lenta añadiendo par motor durante el frenado.

- Fijar con precisión la velocidad de funcionamiento. Una o varias velocidades.
- Limitar la velocidad de arranque.
- Realizar paradas con precisión del motor, mediante la inyección de corriente continua al devanado estático.
- Inversión del sentido de giro.



Figura 86. Variador de frecuencia

Fuente: (techdesing.com, 2015)

5.5.5.1 SELECCIÓN DEL VARIADOR DE FRECUENCIA

El variador de velocidad o frecuencia se lo selecciona dependiendo de la potencia del motor, en este caso para el motor de 1 hp utilizamos un variador de 1 hp, en la Tabla 24 se indica la variedad de modelos.

Tabla 24

Modelos de variadores de frecuencia

Tipo	Motor correspondiente		Corriente nominal de entrada (A)	Corriente nominal de salida (A)
	kW	HP		
KE300X-0R4G-S2	0.4	0.5	5.4	2.3
KE300X-0R7G-S2	0.75	1	8.2	4
KE300X-1R5G-S2	1.5	2	14	7

Fuente: (acdrivecn.com, 2015)

Se seleccionó un variador de frecuencia KE300X-0R7G-S2 para el motor de 1 hp de potencia.

5.6 CÁLCULO DE LA SECCIÓN DE LOS CONDUCTORES

Para calcular la sección de los conductores es necesario hallar la potencia de entrada de los motores, para lo cual aplicamos la siguiente ecuación

$$PE_{in} = \frac{PT_{out}}{\eta e_m}$$

Dónde:

PE_{in} = Potencia eléctrica de entrada

PT_{out} = Potencia total de salida

ηe_m = Eficiencia eléctrica de entrada en el motor

- Motor trifásico (Enrolle)

$$PE_{in} = \frac{746}{0.640}$$

$$PE_{in} = 1165.6 W$$

- Motores trifásicos (Enrolle final y Corte)

$$PE_{in} = \frac{140}{0.639}$$

$$PE_{in} = 219 W$$

Mediante la siguiente ecuación se determina la corriente de línea que requieren los motores, se utiliza la Tabla 20 donde se muestran los valores de factor de potencia en plena carga y la eficiencia.

$$I_{l_m} = \frac{PE_{in}}{\sqrt{3} * V_{l_m} * FP_m}$$

Dónde:

V_{l_m} = Voltaje de línea del motor

I_{l_m} = Corriente de línea del motor

FP_m = Factor de potencia del motor

- Motor trifásico (Enrolle)

$$I_{l_m} = \frac{1165.6}{\sqrt{3} * 220 * 0.69}$$

$$I_{l_m} = 4.4 \text{ A}$$

- Motores trifásicos (Enrolle final y Corte)

$$I_{l_m} = \frac{219}{\sqrt{3} * 220 * 0.69}$$

$$I_{l_m} = 0.83 \text{ A}$$

La corriente de arranque del motor de mayor potencia, en este caso el de 1 hp es la que determina el calibre de cable mínimo que se debe utilizar en los motores para la alimentación, donde se multiplica el valor de la corriente de línea nominal por el factor entre la corriente nominal y la corriente de arranque.

$$I_{a_m} = I_{l_m} * CI_{al}$$

Dónde:

I_{a_m} = Corriente de arranque del motor

CI_{al} = Coeficiente entre la corriente nominal y corriente de arranque

- Motor trifásico (Enrolle)

$$Ia_m = 4.4 * 4.3$$

$$Ia_m = 18.92 A$$

- Motores trifásicos (Enrolle final y Corte)

$$Ia_m = 0.83 * 3.2$$

$$Ia_m = 2.65 A$$

Para la alimentación de los motores eléctricos trifásicos se selecciona un cable 3x12 AWG flexible tipo TW, para la alimentación principal eléctrica se utiliza un cable 5x10 AWG flexible tipo TW y para el control de los elementos electrónicos se utiliza un cable 18 AWG flexible tipo TW de la Tabla 25.

Tabla 25

Amperaje que soportan los cables de cobre

Amperaje que soportan los cables de cobre					
Nivel de temperatura	60°C	75°C	90°C	60°C	
Tipo de aislante	TW	RHW, THW, THWN	RHHN, XHHW-2, THWN-2	SPT	
Medida / Calibre del cable	Amperaje soportado			Medida / Calibre del cable	Amperaje soportado
14 AWG	15 A	15 A	15 A	20 AWG	2 A
12 AWG	20 A	20 A	20 A	18 AWG	10 A
10 AWG	20 A	30 A	30 A	16 AWG	13 A
8 AWG	40 A	50 A	55 A	14 AWG	18 A
6 AWG	55 A	65 A	75 A	12 AWG	25 A
4 AWG	70 A	85 A	95 A		
3 AWG	85 A	100 A	115 A		
2 AWG	95 A	115 A	130 A		
1 AWG	110 A	130 A	145 A		
1/0 AWG	125 A	150 A	170 A		
2/0 AWG	145 A	175 A	195 A		
3/0 AWG	165 A	200 A	225 A		
4/0 AWG	195 A	230 A	260 A		

Fuente: (voltech.com, 2014)

5.7 PLC

El PLC es un dispositivo electrónico 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.(Figura 88)



Figura 87. PLC XINJE

Fuente: (xinje.com, 2015)

5.7.1 SELECCIÓN DEL PLC

Hay varios aspectos a tomar en cuenta al momento de escoger un PLC, entre los más importantes tenemos:

- Número de entradas/salidas
- Escalabilidad
- Comunicación
- Precio

En la Tabla 26 se indica el número de actuadores (salidas) de la máquina y en la Tabla 27 el número de sensores (entradas) necesarios.

Tabla 26**Actuadores (salidas del PLC)**

Nombre	Descripción	Cantidad
Motor eléctrico	Motores trifásicos de 1hp y 0.25hp	3
Cilindro neumático	Cilindros de doble efecto	8
Resistencias eléctricas	Actuadores utilizados en el horno	1
Total		12

Tabla 27**Sensores (entradas del PLC)**

Nombre	Descripción	Cantidad
Fines de carrera	Sensores magnéticos para cilindros neumáticos	12
Encoder	Sensor para determinar número de revoluciones	1
Termocupla	Sensor para control del horno	1
Total		14

Se necesitará un PLC para 14 entradas y 12 salidas.

Se ha seleccionado un PLC de la marca XINJE ya que son seguros, robustos, compactos y de bajo costo, en caso de ampliar el número de entradas y salidas estos pueden manejar módulos de expansión, además pueden comunicarse con un HMI en caso de ser necesario.

El PLC XINJE XC3-32R posee 18 entradas digitales y 14 salidas digitales con lo cual satisface el número de entradas y salidas requeridas por el sistema, en la Tabla 28 se muestran sus especificaciones generales.

Tabla 28

Especificaciones generales PLC XINJE XC3 - 32R

Ítem	Especificación
Voltaje de aislamiento	Sobre DC 500V 2MΩ
Resistencia del ruido	Pulso de 1000V 1us para 1 minuto
Temperatura de ambiente	0 - 60
Humedad de ambiente	5% - 95%
COM1	RS-232, esté conectado con el ordenador central o HMI para programar o eliminar errores
COM2	RS-485/RS-232, red o conectan con el instrumento, el inversor
COM3	Puerto de comunicación extensional de BD RS-232/RS-485
Instalación	Tornillo M3 fijado o (anchura de 35mm) instalación de riel DIN46277
Conexión a tierra	El tercer tipo el poner a tierra (nunca realice poner a tierra común con el sistema eléctrico de potencia)

Fuente: (xinje.com, 2015)

5.7.2 CONEXIONES DEL PLC

A continuación se presenta la manera de conectar las entradas y salidas al PLC, en la Figura 89 se muestra las dimensiones de este.

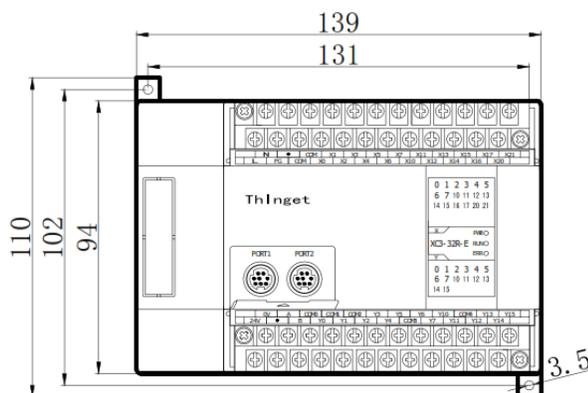


Figura 88. Dimensiones PLC XINJE XC32

Fuente: (xinje.com, 2015)

En la Figura 90 se muestra la manera correcta de conectar las entradas al PLC, en este caso los pulsadores, sensores, en su mayoría sensores magnéticos.

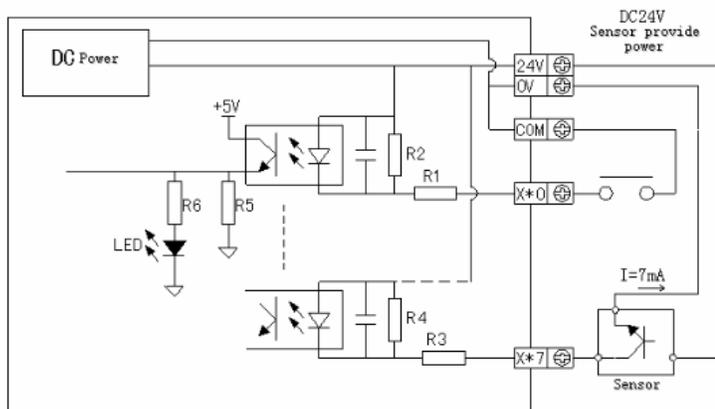


Figura 89. Conexión de entradas al PLC XINJE XC24

Fuente: (xinje.com, 2015)

En la Figura 91 se indica como conectar las salidas del PLC, en nuestro caso todas las salidas estarán conectadas a relés de 24V DC los mismos que una vez accionados permitirán el paso del voltaje de potencia requerido por el actuador, (Figura 92 y Figura 93).

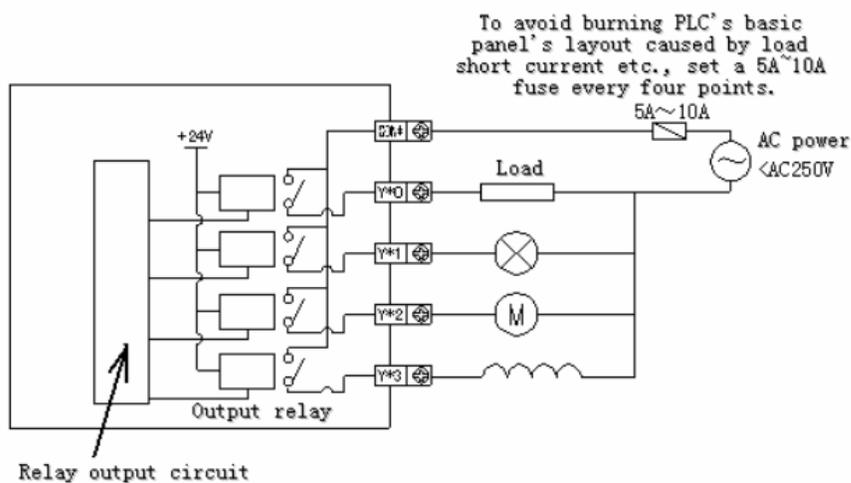


Figura 90. Conexión de salidas al PLC XINJE XC24

Fuente: (xinje.com, 2015)

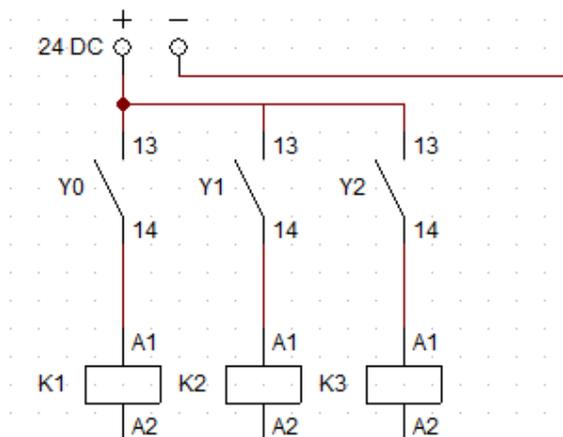


Figura 91. Circuito de acondicionamiento de señales de salida del PLC

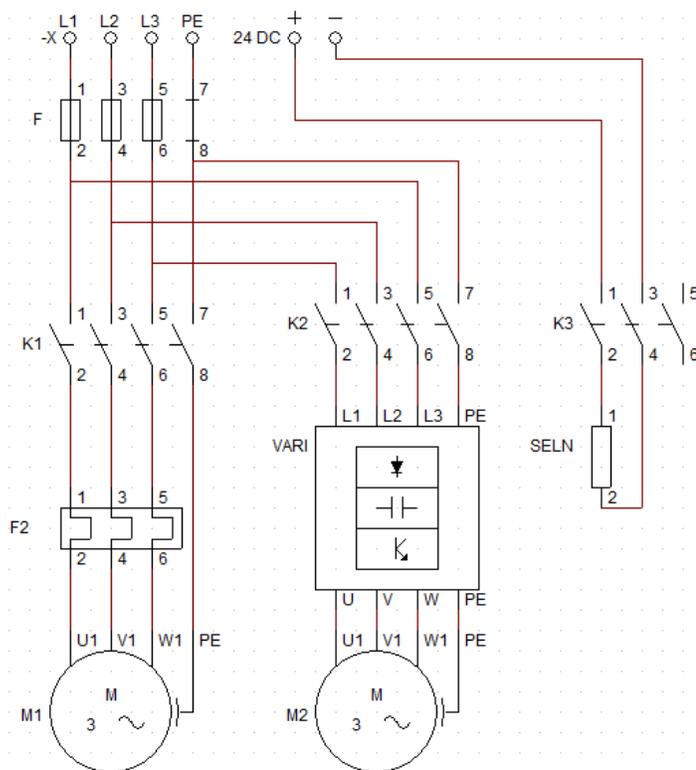


Figura 92. Circuito de potencia de salida del PLC

5.7.3 PROGRAMACIÓN DEL PLC

Se utilizará un PLC XINJE XC3–32R, el cual es programado en el software XC Series Program Tool (Figura 94), para efectos de simulación el programa será realizado en el software FESTO FluidSIM, la programación es la misma con la diferencia que en el programa para el PLC se aumentarán registros y memorias para la interacción con el HMI, en el ANEXO B se muestra la programación realizada para el PLC.

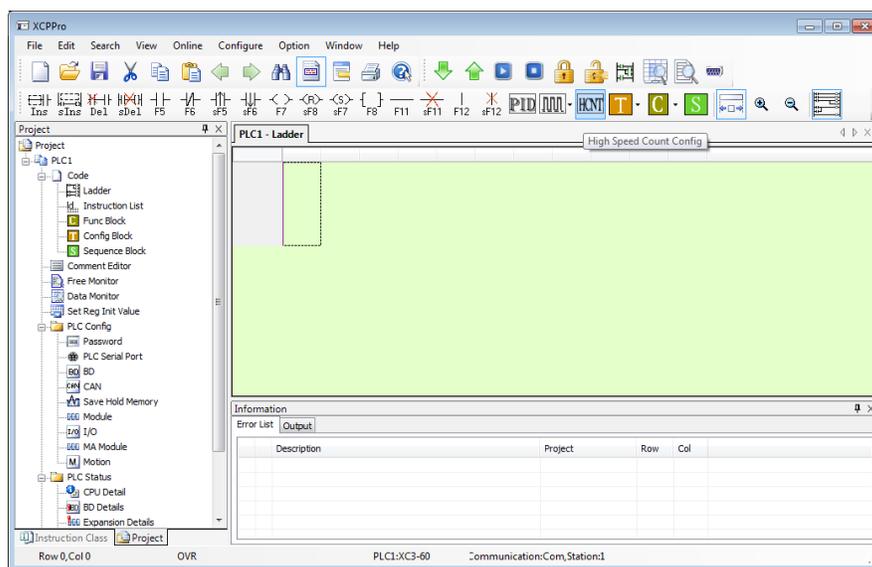


Figura 93. Software XC Series Program Tool

5.8 SENSORES

Un sensor es un dispositivo capaz de detectar magnitudes físicas o químicas, llamadas variables de instrumentación, y transformarlas en variables eléctricas.

5.8.1 SENSORES MAGNÉTICOS

Detectan los objetos magnéticos que se utilizan para accionar el proceso de la conmutación, los campo magnéticos pueden pasar a través de muchos materiales no magnéticos, el proceso de la conmutación se puede también

accionar sin la necesidad de la exposición directa al objeto, usando los conductores magnéticos (hierro), el campo magnético se puede transmitir sobre mayores distancias para, por ejemplo, poder llevarse la señal de área de alta temperatura.¹ (Figura 95).



Figura 94. Interruptor magnético Airtac

Fuente: (airtac.com, 2015)

5.8.1.1 SELECCIÓN DE SENSORES MAGNÉTICOS

Los sensores magnéticos serán utilizados como fines de carrera de los cilindros neumáticos, estos cilindros serán de la marca Airtac al igual que los sensores, en la Tabla 29 se indican sus principales características.

Tabla 29

Especificaciones generales interruptor magnético Airtac

Nombre	Interruptor magnético
Modelo	Cs1-f
Tipo	Airtac Cs1-f
Carga aplicable	Relé de PLC
Voltaje de trabajo	24 V DC, 100 V AC
Corriente de trabajo	60 mA DC, 50 mA AC
Indicador	Led rojo
Longitud de cable	2 m

Fuente: (techdesing.com, 2015)

5.8.2 SENSOR DE TEMPERATURA (TERMOCUPLA)

Un termopar es un transductor formado por la unión de dos materiales distintos que produce una diferencia de potencial muy pequeña (en el orden de

¹ Fuente especificada no válida.

los milivoltios) que es función de la diferencia de temperatura entre uno de los extremos denominado “punto caliente” y el otro llamado “unión fría”. (Figura 96)



Figura 95. Termocupla tipo tronillo J

Fuente: (techdesing.com, 2015)

5.8.2.1 SELCCIÓN DE TERMOCUPLA

La termocupla estará conectada al control de temperatura del horno eléctrico, existen diversos tipos de termocupla, estos varían según los elementos que lo conforman y los rangos de medición, en la Tabla 30 se indican los distintos tipos de termocuplas.

Tabla 30

Tipos de termocuplas y sus características.

Tipo	Cable + Aleación	Cable - Aleación	Temperatura °C	Voltaje Máximo V DC
J	Hierro	Cobre/Níquel	(-180 a 750)	42.2
K	Níquel/Cromo	Níquel/Aluminio	(-180 a 1375)	54.8
T	Cobre	Cobre/Níquel	(-250 a 400)	20.8
R	87% Platino y 13% Rodio	100%Platino	(0 a 1767)	21.09
S	90%Platino y 10% Rodio	100%Platino	(0 a 1767)	18.68
B	70% Platino y 30% Rodio	94%Platino y 6%Rodio	(0 a 1820)	13.81

Fuente: (techdesing.com, 2015)

La temperatura de autoignición del papel es de 233°C, por tal razón el horno tendrá como máximo una temperatura de trabajo de 300°C tomando en cuenta que el papel tinturado que pasará por este estará húmedo, por eso se selecciona una termocupla tipo J, por su rango de trabajo de temperaturas bajas.

5.8.3 SENSOR DE POSICIÓN (ENCODER)

Es un dispositivo electromecánico usado para convertir la posición angular de un eje a un código digital, lo que lo convierte en una clase de transductor. (Figura 97).



Figura 96. ENCODER

Fuente: (techdesing.com, 2015)

5.8.3.1 SELECCIÓN DEL ENCODER

El encoder va a estar conectado al eje del motor de enrollado para monitorear el largo de papel enrollado, se contarán los pulsos generados para que cuando cumpla la condición interna del PLC el programa pase a la siguiente instrucción.

En el capítulo mecánico se determinó que el eje del rodillo de enrollado, el cual está conectado directamente al motor de enrollado debe girar 27 veces para enrollar 3 metros de papel tinturado.

En la Tabla 31 se indican las características generales del encoder seleccionado.

Tabla 31

Características técnicas ENCODER

Marca	SAHFT
Código	S400BD
Tipo	Encoder rotatorio
Pulsos por revolución	400 PPR
Voltaje	12 – 24 VDC
Diámetro del eje	6mm
Extensión del cable	2m

Fuente: (techdesing.com, 2015)

5.9 HMI

La sigla HMI es la abreviación en inglés de Interfaz Hombre Máquina, los sistemas HMI podemos pensarlos como una “ventana” de un proceso, esta ventana puede estar en dispositivos especiales como paneles de operador o en una computadora.

Las señales del proceso son conducidas al HMI por medio de dispositivos como tarjetas de entrada/salida en la computadora, PLC, RTU o Drive, todos estos deben tener una comunicación que entienda el HMI.

5.9.1 SELCCIÓN DEL HMI

El OP 320 (Figura 98) es un mini HMI para el PLC XINJE, que supervisa y modifica el valor y estado de registro o relé dentro del PLC, de esta manera el operador puede controlar la máquina fácilmente, posee siete botones con funciones básicas pero también se pueden configurar para ser teclas de funciones especiales, en la Tabla 32 se indican sus especificaciones eléctricas.



Figura 97. OP 320

Fuente: (techdesing.com, 2015)

Tabla 32

Especificaciones eléctricas OP320

Ítem	Especificación
Voltaje de entrada	DC 20V – DC 28V
Consumo de energía	Menos que 4W(TYP2.0W)
Corte de energía permitido	Menos que 20ms
Voltaje de resistencia	AC 1000V – 10MA 1 minuto (entre señal y tierra)
Resistencia del ruido	DC 500V acerca 10MΩ (entre señal y tierra)

Fuente: (techdesing.com, 2015)

5.9.2 PROGRAMACIÓN DEL HMI

La pantalla que se utilizará es una OP320 para PLC XINJE, para programarla se utilizará el software OP20 Edit Tool, (Figura 99) el cual permitirá relacionar al PLC con los pulsadores de la pantalla.

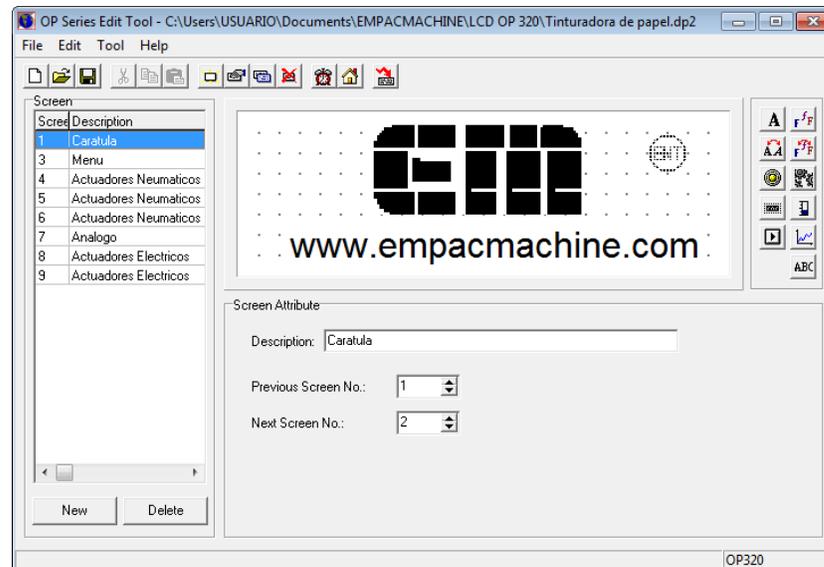


Figura 98. Software OP320

En la Figura 100 se muestra el mapa de navegación de las pantallas que posee el HMI, en el ANEXO B se incluye el manual de usuario donde se indican todas las pantallas que posee la interfaz.

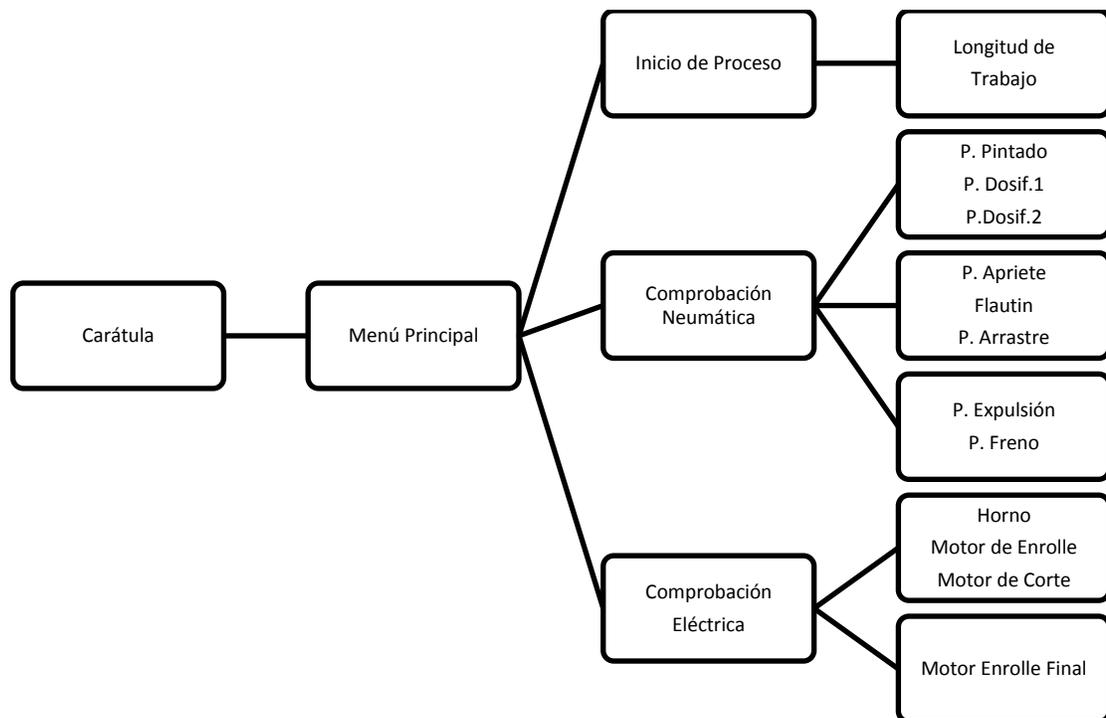


Figura 99. Mapa de navegación de la pantalla

5.10 CONTROL DE TEMPERATURA

Se utilizará un control de temperatura para el horno eléctrico, el mismo que encenderá o apagará las resistencias eléctricas para que no se sobrepase la temperatura máxima de trabajo.

Estos controladores de temperatura permiten realizar un control P, PI, PD, PID o en su defecto un control ON/OFF de la temperatura previamente ingresada por el operario; En la Tabla 5.10 se indican la los datos técnicos más relevantes del controlador de temperatura, (Figura 101).



Figura 100. Control de temperatura TC4S

Fuente: (techdesing.com, 2015)

Tabla 33

Características técnicas del TC4S

Marca	AUTONICS
Termocupla	TC4S
Temperatura de operación	(-10°C a 50°C)
Voltaje	220v

Fuente: (techdesing.com, 2015)

5.11 RESISTENCIA ELÉCTRICA TIPO TUBULAR

Es la más versátil y ampliamente utilizada en aplicaciones industriales por su resistencia contra el choque, vibraciones, corrosión y altas temperaturas, pueden ser formadas en una gran variedad ilimitada de figuras se puede soldar

con plata o con argón, también pueden ser montadas en piezas de latón o acero inoxidable, son muy utilizadas en aplicaciones tales como calefacciones de ductos, calefactores de ambiente, hornos de secado y templado de los sistemas de aire acondicionado, (Figura 102), en la Tabla 34 se indican sus especificaciones técnicas.

Partes de una resistencia eléctrica:

- 1 Cubierta metálica
- 2 Aislante de relleno
- 3 Resistencia bobinada
- 4 Terminal de conexión
- 5 Sellado estanco
- 6 Aislados cerámico o de PTFE (Teflón)

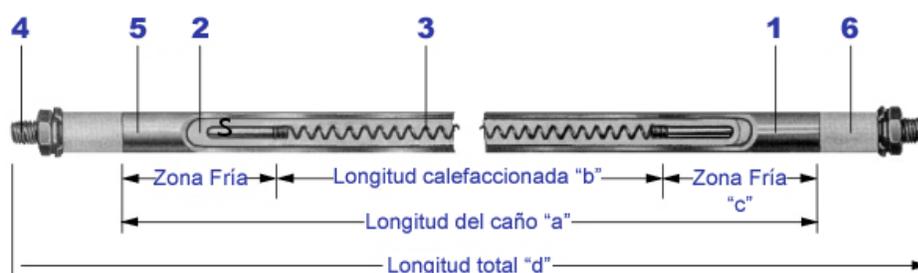


Figura 101. Partes de una resistencia eléctrica tipo tubular

Fuente: (kountaras.com, 2015)

Tabla 34

Especificaciones generales de resistencias eléctricas tubulares

Ø Vaina terminada	7	8	9.52	11.1	12.7	14.3
Largo "a" máximo en mm	1500	4000	4000	4000	4000	4000
Largo "a" mínimo en mm	200	100	200	200	200	200
Largo zona fría "c" máxima	100	1500	1500	1500	1500	1500
Largo zona fría "c" mínima	30	30	30	40	40	40
Tensión máxima (V)	380	380	440	440	440	440
Intensidad máxima (A)	20	30	30	30	40	40
Potencia máxima (kW)	2400	6200	6800	6800	8300	9100

Fuente: (kountaras.com, 2015)

5.11.1 SELECCIÓN DE RESISTENCIAS ELÉCTRICAS

La fuente de alimentación eléctrica utilizada es trifásica, la potencia de la resistencia está dada por la expresión:

$$PT = \sqrt{3} * VL * IL * \text{Cos}\phi$$

Dónde:

$PT = \text{Potencia total}$

$VL = \text{Voltaje de línea}$

$IL = \text{Corriente de línea}$

$\text{Cos}\phi = \text{Factor de potencia}$

La conexión de las resistencias es una conexión delta, como es una carga equilibrada y puramente resistiva el $\text{Cos}\phi=1$, (Figura 103).

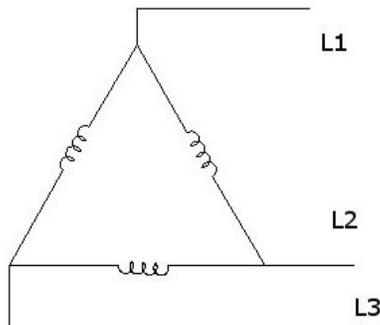


Figura 102. Carga resistiva en delta

Fuente: (e-ducativa.catedu.es, 2015)

Esta fórmula es para una conexión tipo delta:

$$PT = 3 * PF$$

Dónde:

$PT = \text{Potencia total}$

$PF = \text{Potencia de fase}$

La temperatura de combustión del papel es de 233 °C, el horno tendrá las siguientes especificaciones:

Potencia del horno = 2200W

Tensión = 220V

Temperatura de trabajo = 300°C

$$PF = \frac{PT}{3} = \frac{2200}{3} = 733.3W$$

$$IF = \frac{PF}{VL} = \frac{733.3}{220} = 3.33A$$

$$PT = 3Re q * IF^2$$

$$Re q = \frac{PT}{3IF^2} = \frac{2200}{3 * 3.33^2} = 66.1\Omega$$

Para cumplir con los requerimientos de potencia del horno, las resistencias eléctricas deben tener 66.1Ω como mínimo.

En la Figura 104 se presenta el diagrama de conexiones del control de temperatura y el en la Figura 105 se muestra el circuito eléctrico completo del horno.

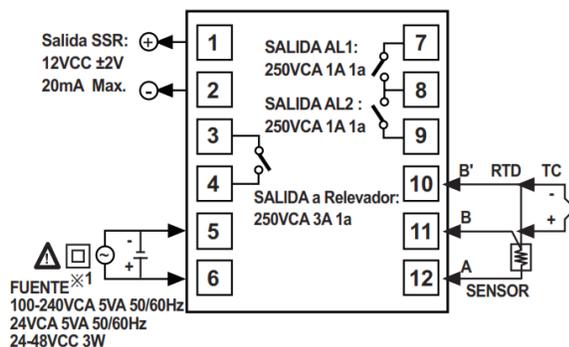


Figura 103. Conexiones del control de temperatura

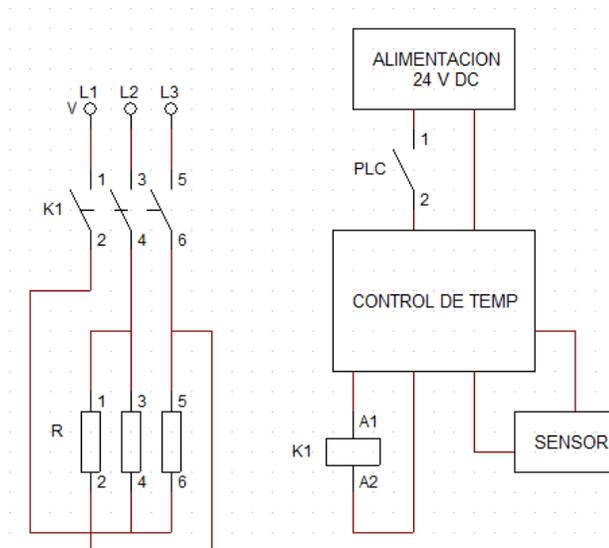


Figura 104. Circuito eléctrico y de mando del horno

5.12 ELECTROVÁLVULAS

Las electroválvulas son dispositivos que responden a pulsos eléctricos, gracias a la corriente que circula a través del solenoide es posible abrir o cerrar la válvula controlando, de esa forma, el flujo de fluidos. Al circular corriente por el solenoide genera un campo magnético que atrae el núcleo móvil y al finalizar el efecto del campo magnético, el núcleo vuelve a su posición, en la mayoría de los casos, por efecto de un resorte.

5.12.1 SELECCIÓN DE ELECTROVÁLVULAS

Se han seleccionado electroválvulas 5/2 con retronó por muelle para el pilotaje de los cilindros neumáticos de doble efecto, y de solenoide a 220 V AC, de la marca Airtac, (Figura 106), en la Tabla 35 se indican sus especificaciones generales.



Figura 105. Electroválvula AIRTAC

Fuente: (airtac.com, 2015)

Tabla 35

Especificaciones técnicas de la electroválvula AIRTAC

Estado	Voltaje	Presión de trabajo	Paso de flujo
Normalmente cerrada	100-220 V AC	0.15 – 0.8 MPa	2.5 mm

Fuente: (techdesing.com, 2015)

5.13 DISTRIBUCIÓN DEL TABLERO ELÉCTRICO

La distribución del armario eléctrico es fundamental, ya que en este se ubican todos los elementos eléctricos y electrónicos que conforman el cerebro de la máquina.

En la Figura 107 se indica la distribución de los elementos en el tablero eléctrico.

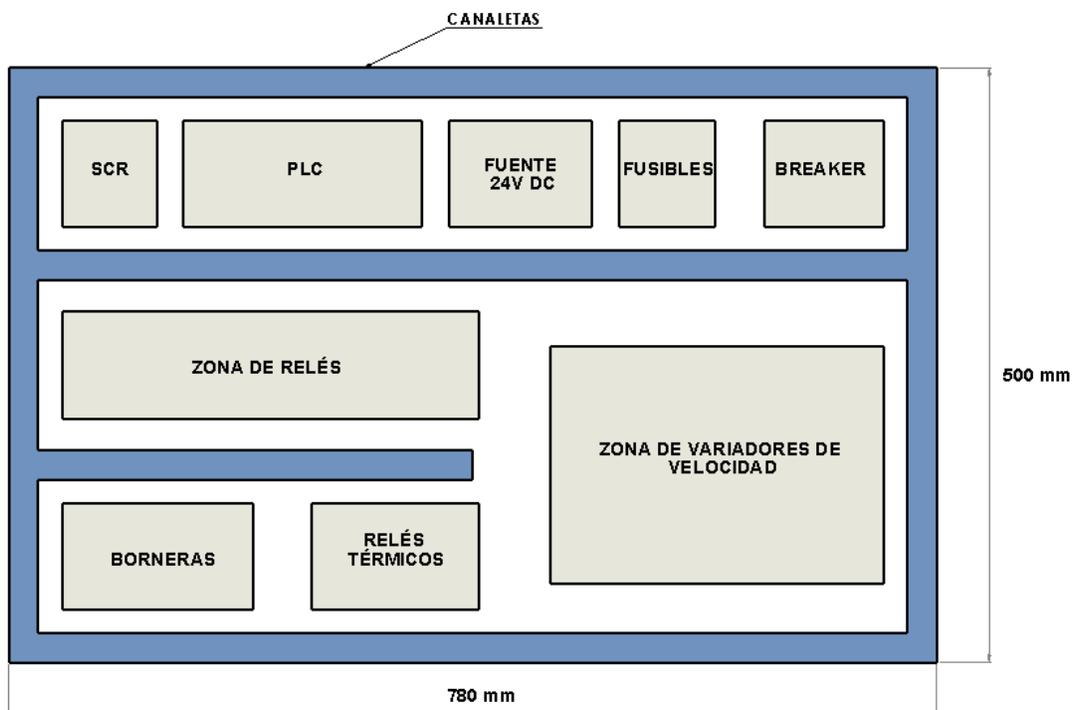


Figura 106. Dimensión y distribución del tablero eléctrico

La alimentación de la máquina es 330 V AC para el horno, el resto de elementos eléctricos trabajan a 220 V AC y los elementos electrónicos a 24 V DC.

5.14 SECUENCIA DE FUNCIONAMIENTO

A continuación se describe la secuencia del proceso mediante un diagrama de flujo (Figura 108, Figura 109, Figura 110), en la Figura 111 se indica la secuencia neumática, y en la Tabla 36 se presenta los actuadores que posee la máquina.

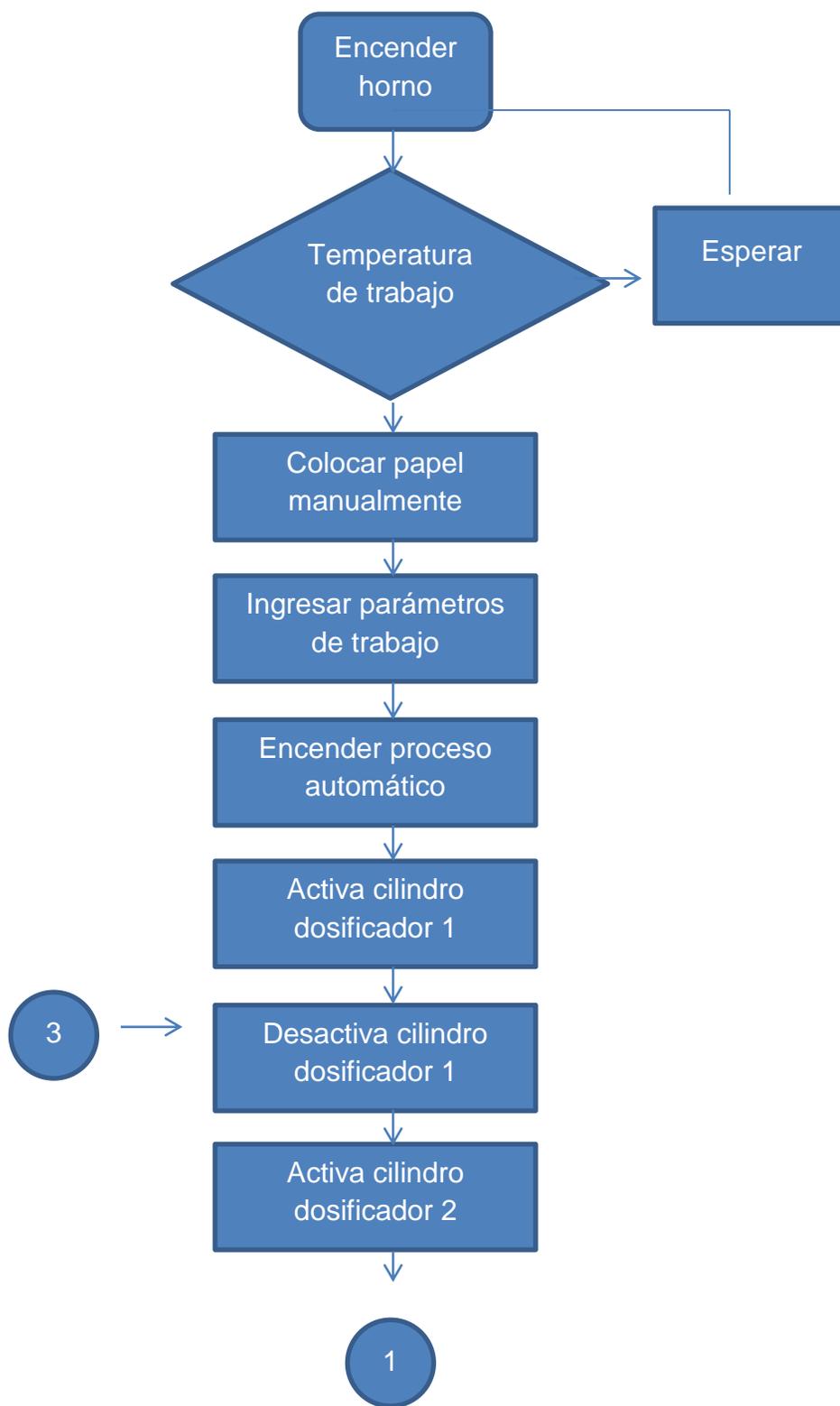


Figura 107. Diagrama de flujo del proceso (parte 1)

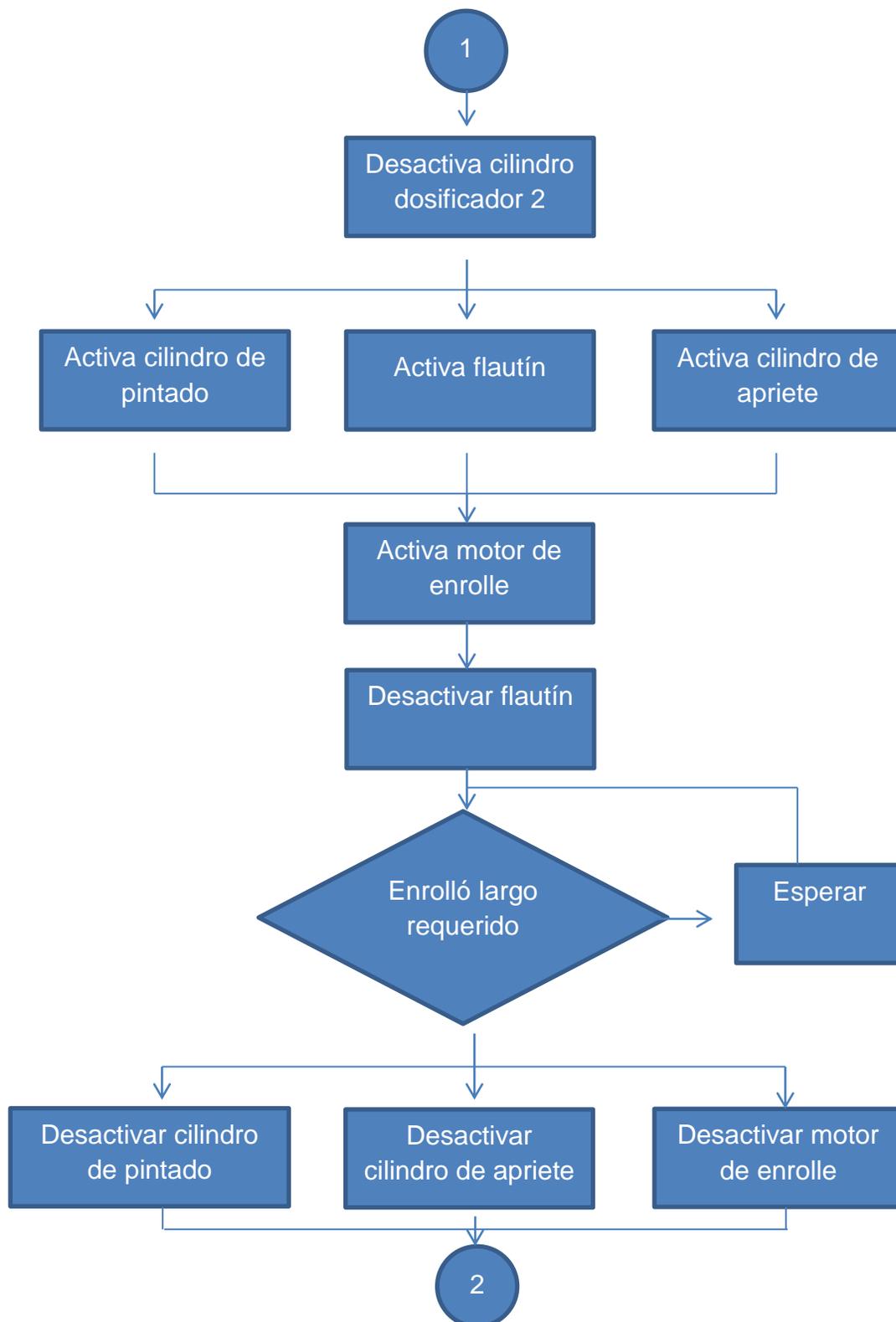


Figura 108. Diagrama de flujo del proceso (parte 2)

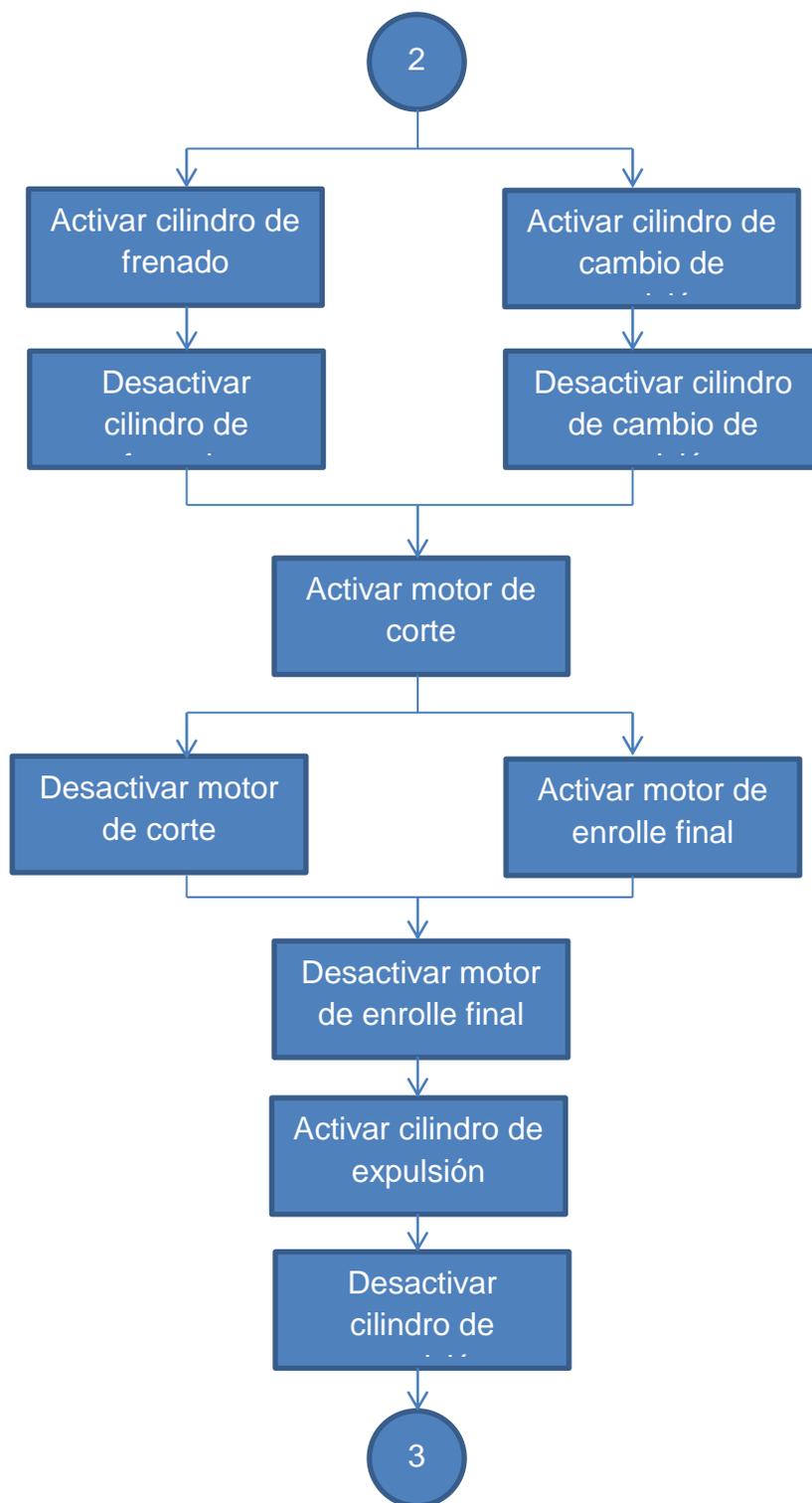


Figura 109. Diagrama de flujo del proceso (parte 3)

Tabla 36

Actuadores de la máquina

SALIDAS			
Nombre	Dirección PLC	Marca	Memoria HMI
Horno eléctrico	Y0	R	M380
Motor de enrollado	Y1	M1	M381
Motor de corte	Y2	M2	M382
Motor de enrollado final	Y3	M3	M383
Pistón de freno	Y4	H	M384
Pistón dosificador 1	Y5	A	M385
Pistón dosificador 2	Y6	B	M386
Pistón de pintado	Y7	E	M387
Pistón de apriete	Y8	D	M388
Pistón de cambio de posición	Y9	F	M389
Pistón de expulsión	Y10	G	M390
Flautín	Y11	C	M391

$$\begin{array}{ccccccc}
 & & E^+ & & H^+ & H^- & M_3^+ \\
 A^+ / A^- / B^+ / B^- / T_1 / C^+ / T_2 / C^- / T_3 / E^- / F^+ / T_4 / F^- / M_2^+ / T_3 / M_2^- / T_6 / M_3^- / G^+ / G^- \\
 R^+ & & D^+ & & D^- & & \\
 & & M_1^+ & & M_1^- & &
 \end{array}$$

Figura 110. Secuencia de funcionamiento de la máquina

5.15 PROGRAMACIÓN Y SIMULACIÓN

Para cumplir la secuencia de funcionamiento de la máquina se realizó el siguiente programa ladder en el software Festo FluidSIM. (Figura 112 y Figura 113)

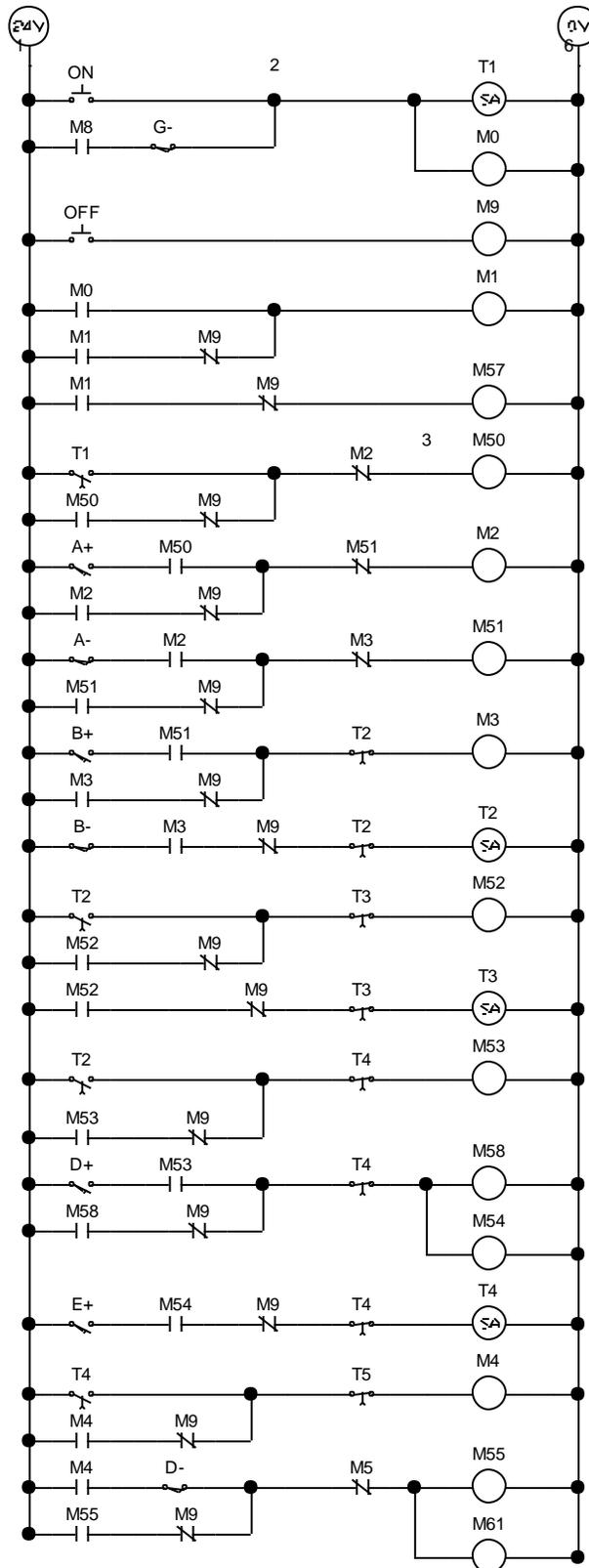


Figura 111. Programa ladder (parte 1)

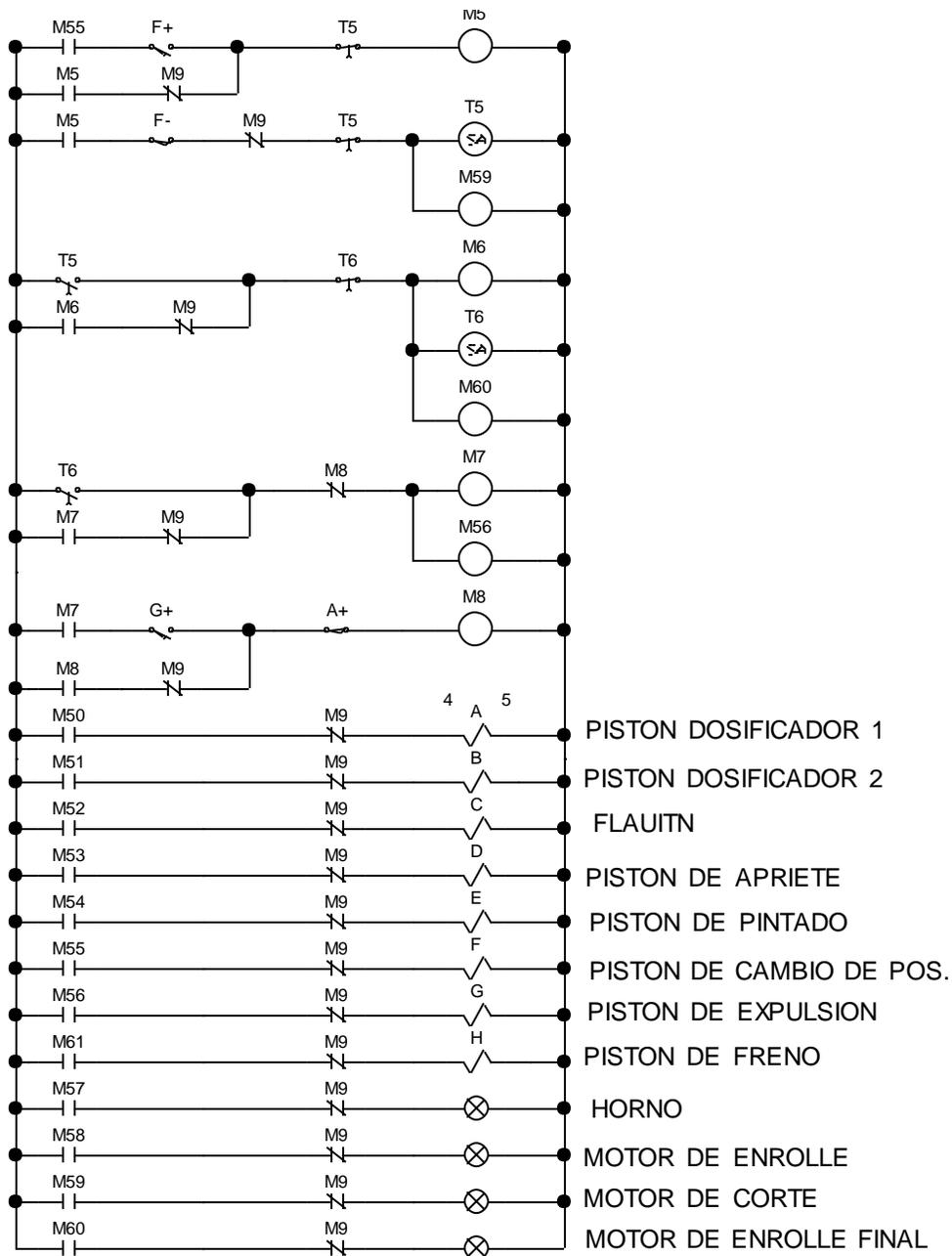


Figura 112. Programa ladder (parte2)

En la Figura 114 se indica esquema neumático de la simulación

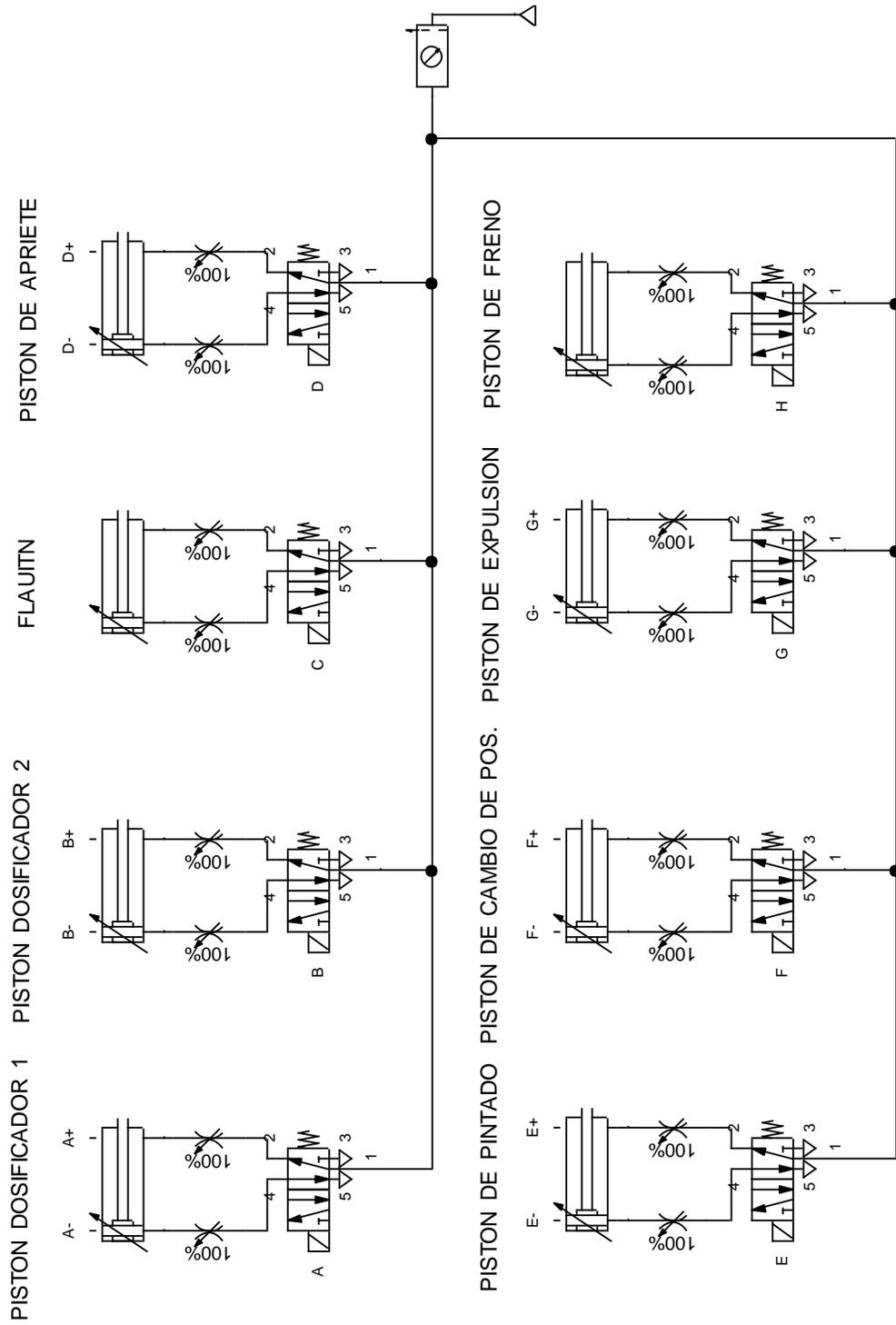


Figura 113. Circuito neumático de la simulación

En la Figura 115 se observa el diagrama de fase que resulta del programa realizado en la simulación, el cual da cumplimiento a la secuencia de funcionamiento de la máquina.

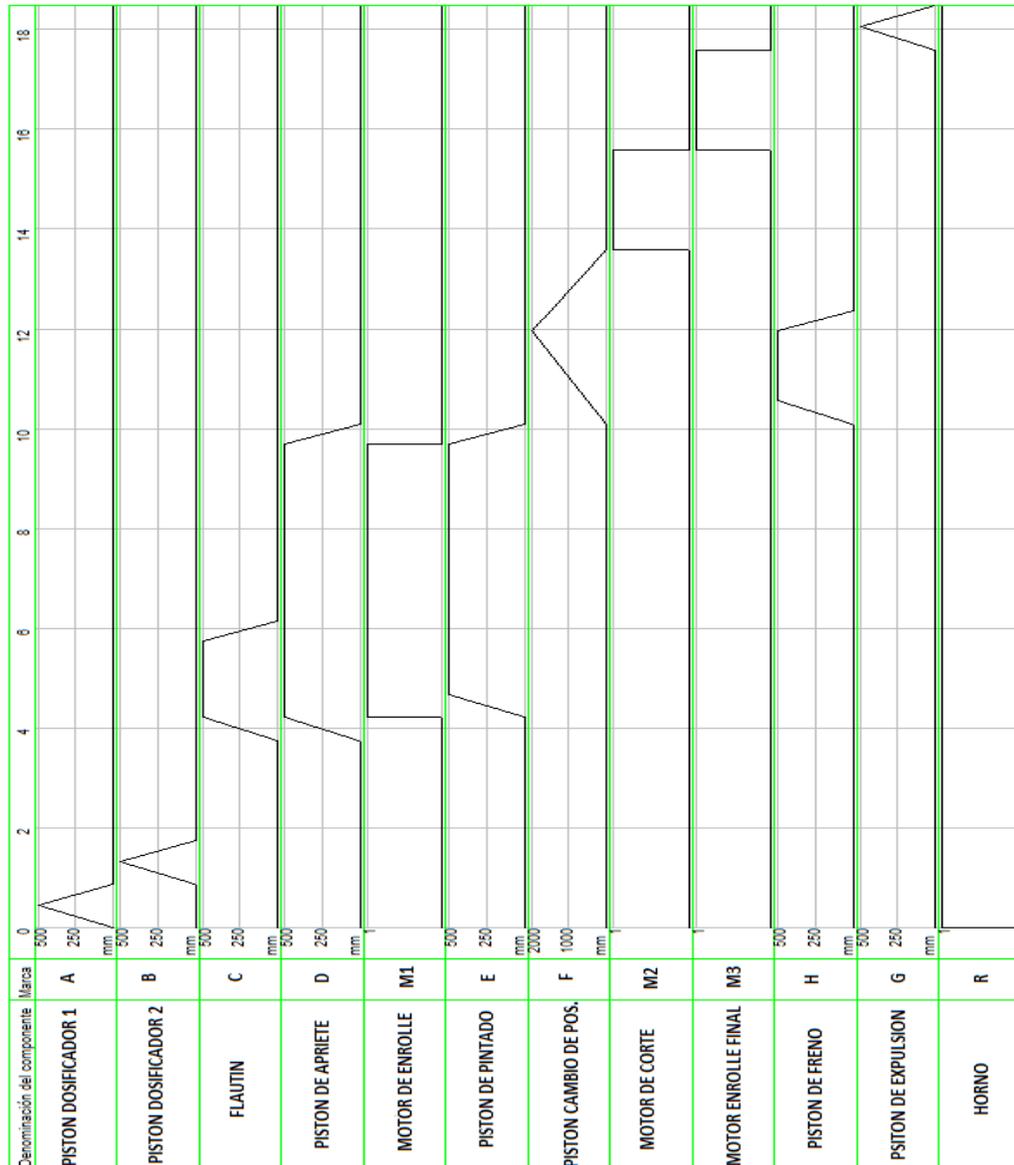


Figura 114. Diagramas de fase

La máquina funcionará con un PLC de la marca XINJE, se realizó el programa para este PLC, pero para efectos de simulación se hizo el mismo programa para un PLC SIEMENS debido a que este si posee un simulador, llamado PC Simu, En la Figura116 se muestra la simulación en PC Simu.

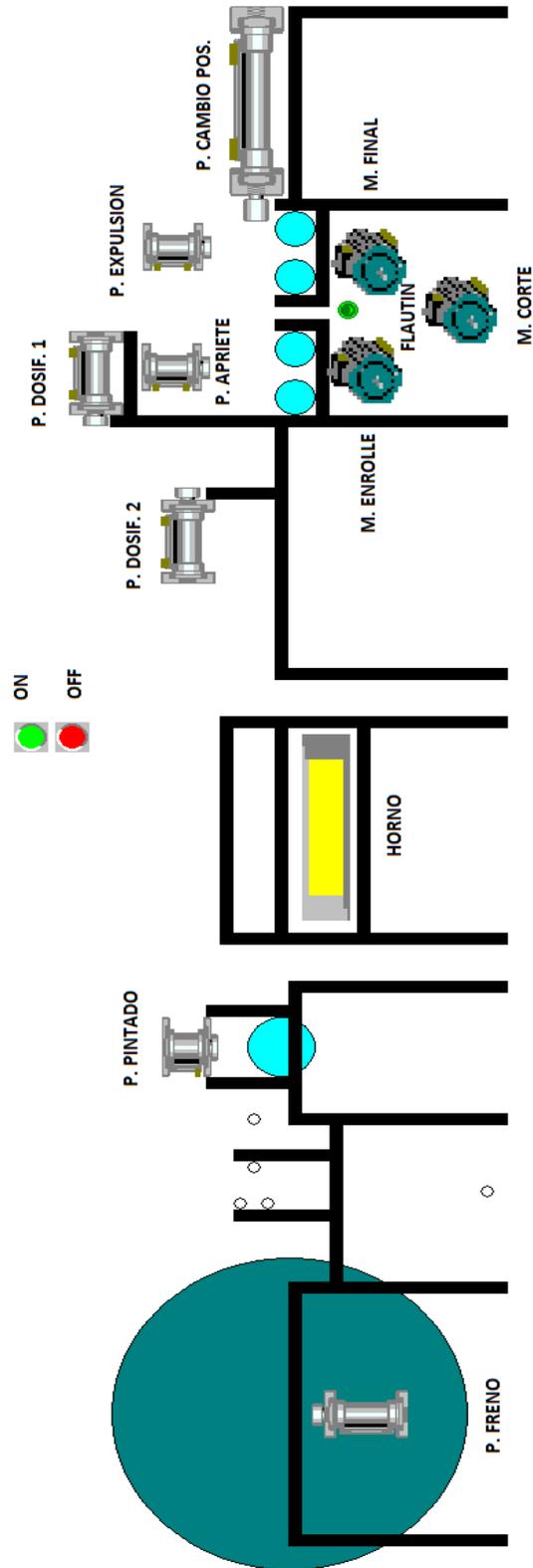


Figura 115. Simulación en PC Simu

CAPITULO VI

ANÁLISIS DE COSTO

6.1 COSTOS DIRECTOS

Todos los costos asociados directamente con la producción de la máquina como los costos de materia prima, accesorios y el costo de mano de obra son tomados en cuenta para la contabilización total del costo directo.

6.1.1 COSTOS DE MATERIA PRIMA

Se considera como materia prima a todo el material en bruto que no ha pasado por un proceso energético para incrementar su costo.

En la Tabla 37 se indica la cantidad y tipo de materia prima que se requiere para la elaboración de piezas mecánicas y elementos necesarios para la formación de la máquina

Tabla 37

Costos de materia prima

N°	Material	Cantidad	Precio/U	Costo Total
1	TUBO CUADRADO 40X40 mm, 6000mm	6	\$ 37.28	\$ 223.68
2	PLANCHA ACERO NEGRO 2 mm	3	\$ 49.73	\$ 149.19
3	PLANCHAS ACERO NEGRO 9 mm	1	\$ 95.60	\$ 95.60
4	BRONCE FOSFÓRICO 51 mm X500 mm	1	\$ 218.40	\$ 218.40
5	INOX 15 mm X 1000 mm	13	\$ 7.17	\$ 93.21
6	INOX 20 mm X 6000 mm	1	\$ 98.92	\$ 98.92
7	PLANCHA ACERO NEGRO 6 mm	1	\$ 73.01	\$ 73.01
8	TUBO INOX 32 mm X 4000 mm	1	\$ 64.47	\$ 64.47
9	TUBO INOX C.65 X 1000 mm	4	\$ 114.30	\$ 457.20
10	ACERO DE TRANSMISIÓN 25 mm X 1300	1	\$ 18.50	\$ 18.50
			Total	\$ 1,492.18

6.1.2 COSTOS DE ACCESORIOS Y DISPOSITIVOS

Existen diferentes accesorios y dispositivos de tipo mecánico, neumático, eléctrico y electrónico necesarios para la conformación total de cada sistema de la máquina. El resumen de precios, características y cantidades se encuentran en la Tabla 38.

Tabla 38

Costos de accesorios y dispositivos

N°	Sistema	Material	Cantidad	Precio/U	Costo Total
1	SISTEMA ELÉCTRICO-ELETRÓNICO	PLC 14 ENTRADAS 10 SALIDAS	1	\$ 291.20	\$ 291.20
2		PANEL OPERADOR OP 320 XINJE	1	\$ 268.80	\$ 268.80
3		CABLE DVP PLC OP TH PC	1	\$ 40.32	\$ 40.32
4		BOTÓN PULSADOR RASANTE VERDE MARCHA	1	\$ 15.80	\$ 15.80
5		BOTÓN PARO DE EMERGENCIA	1	\$ 26.03	\$ 26.03
6		RELÉ AUXILIAR 14 PINES PLANOS	12	\$ 5.24	\$ 62.88
7		BASE RELÉ MY14 AGUJEROS PLANOS	12	\$ 3.62	\$ 43.44
8		CONTROLADOR DE TEMPERATURA	1	\$ 112.34	\$ 112.34
9		FUENTE 220 VAC a 24 VDC	1	\$ 60.00	\$ 60.00
10		RELÉ ESTADO SÓLIDO	2	\$ 30.46	\$ 60.92
11		CABLE FLEXIBLE # 16 de 100 m	1	\$ 17.92	\$ 17.92
12		CABLE 3 X 16	10	\$ 2.28	\$ 22.80
13		VARIADOR DE FRECUENCIA	1	\$ 216.78	\$ 216.78
14		RESISTENCIAS ELECTRICAS	6	\$ 73.44	\$ 440.64
15		BREAKER RIEL DIN DOMANE	1	\$ 13.23	\$ 13.23
16		RIEL DIN 35 mm	2	\$ 3.62	\$ 7.24
17	SISTEMA NEUMÁTICO	CILINDRO COMPACTO 80X15 mm	1	\$ 97.50	\$ 97.50
18		VÁLVULA DESLIZANTE 1/4"	1	\$ 13.66	\$ 13.66
19		FILTRO REGULADOR 1/4"	1	\$ 58.97	\$ 58.97
20		CUERPO 1/4"	1	\$ 6.01	\$ 6.01
21		PLUG 1/4"	1	\$ 1.80	\$ 1.80
22		MANGUERA 6 mm	10	\$ 0.69	\$ 6.90
23		MANGUERA 8 mm	10	\$ 1.13	\$ 11.30
24		VÁLVULAS SELENOIDE DE 1/4"	8	\$ 43.52	\$ 348.16

Continua 

25		RACORES	16	\$ 1.86	\$ 29.76
26		REGULADORES DE CAUDAL	16	\$ 6.10	\$ 97.60
27		SILENCIADORES DE 1/8"	5	\$ 0.72	\$ 3.60
28		CILINDRO 40mm x 300mm	1	\$ 151.32	\$ 151.32
29		CILINDRO 40mm x 50mm	5	\$ 64.95	\$ 324.75
30		SILENCIADORES DE 1/8"	6	\$ 1.95	\$ 11.70
31		CODO 8 mm X 1/8"	13	\$ 1.59	\$ 20.67
32	SISTEMA MECÁNICO	RODAMIENTO 6902	12	\$ 2.34	\$ 28.08
33		PIÑÓN PASO 40-9	1	\$ 3.45	\$ 3.45
34		CHAVETA 10mmX200 mm	1	\$ 1.06	\$ 1.06
35		CHAVETA 8 mm X150 mm	1	\$ 0.84	\$ 0.84
36		PIÑÓN PASO 40-25	2	\$ 13.70	\$ 27.40
37		CADENA PASO 40	1	\$ 108.42	\$ 108.42
38		CHUMACERAS UCP 206	2	\$ 25.99	\$ 51.98
39		CHUMACERAS UCFL 206	2	\$ 19.30	\$ 38.60
40		CHUMACERAS UCFL 204	8	\$ 5.29	\$ 42.32
41		CHUMACERAS UCFL 201	2	\$ 6.23	\$ 12.46
42		CANDADOS PASO 40	8	\$ 4.03	\$ 32.24
43		MOTOR 1HP CON CAJA	1	\$ 560.03	\$ 560.03
44	MOTOR 0.25 HP	2	\$ 183.00	\$ 366.00	
				Total	\$ 4,156.92

6.1.3 COSTOS DE MANO DE OBRA

Los procesos de manufactura serán realizados por personal calificado, para determinar el costo de mano de obra se toma en cuenta el número de trabajadores a involucrarse en la construcción, la relación de tiempo necesario y finalmente el salario percibido por cada uno, en la Tabla 39 se detalla los costos de mano de obra.

Tabla 39

Costos de mano de obra

N°	Encargado	Actividades	Personal	Tiempo	Costo/h	Costo Total
1	PERSONAL DE TALLER	SOLDADURA	2	320 h	\$ 2.20	\$ 1,408
		DOBLADO DE PLANCHAS METÁLICAS				
		CORTE DE MATERIAL				
		PULIDA				
		ENSAMBLAJE DE PIEZAS				
		PERFORACIONES				
	AJUSTE					
2	PERSONAL DE TORNO	MANUFACTURA DE EJES	1	120 h	\$ 2.20	\$ 264
		DESBASTE DE EJES				
		RECTIFICACIÓN DE EJES				
		PERFORACIONES CONCÉNTRICAS				
3	PERSONAL DE FRESA	RECTIFICACIÓN DE SUPERFICIES	1	40 h	\$ 2.20	\$ 88
		MANUFACTURA DE PIEZAS PLANAS				
		DESBASTE DE PIEZAS PLANAS				
					Total	\$ 1,760

6.1.4 COSTOS DE SERVICIOS Y TRATAMIENTOS ESPECIALES

El detalle de los diferentes procesos, tratamientos y servicios con sus respectivos precios se muestran en la Tabla 40.

Tabla 40

Costos de servicios y tratamientos especiales

N°	Material	Cantidad	Precio/U	Costo Total
1	VULCANIZADO	1	\$ 342.56	\$ 342.56
2	PINTADO ELECTROESTATICO	1	\$ 648.23	\$ 648.23
3	DISEÑO MECÁNICO Y ELÉCTRICO	1	\$ 800	\$ 800
4	SIMULACIÓN	1	\$ 200	\$ 200
			Total	\$ 1990.79

6.2 COSTOS INDIRECTOS

Estos costos son todos aquellos que no son visibles directamente en el objeto, tales como: servicio eléctrico, transporte, impuestos, consumibles entre otros. (Tabla 41 y Tabla 42)

Tabla 41

Costos de material indirecto

N°	Material	Cantidad	Costo/U	Costo Total
1	DISCO DE CORTE	40	\$ 3.00	\$ 120
2	ELECTRODOS DE SOLDADURA	60	\$ 3.00	\$ 180
3	DISCO PARA PULIR	5	\$ 5.00	\$ 25
4	GUAÍPE	30	\$ 0.10	\$ 3
5	HOJA DE SIERRA	1	\$ 1.20	\$ 1
6	CINTA AISLANTE	1	\$ 0.50	\$ 1
7	PINTURA EN AEROSOL	1	\$ 3.00	\$ 3
8	LIJAS DE GRANO MEDIO	10	\$ 0.90	\$ 9
9	LIJAS DE GRANO FINO	10	\$ 0.50	\$ 5
10	SEÑALADOR	1	\$ 2.00	\$ 2
Total				\$ 349

Tabla 42

Costos de servicio y adicionales indirectos

N°	Rubro	Costo Total
1	SERVICIO ELÉCTRICO	\$ 80
2	SERVICIO DE TELÉFONO	\$ 30
3	SERVICIO DE AGUA POTABLE	\$ 20
4	SERVICIO DE INTERNET	\$ 10
5	EXTRAS Y ADICIONALES	\$ 50
Subtotal		\$ 190
IMPREVISTOS 15%		\$ 28.5
Total		\$ 218.5

6.3 COSTO TOTAL DE LA MÁQUINA

El costo total de la máquina es la suma de los costos directos e indirectos, adicionalmente se le da una utilidad de ganancia determinada por la empresa fabricante la cual es del 50%. (Tabla 43)

Tabla 43

Costo total

N°	Rubro	Costo
1	COSTOS DE MATERIA PRIMA	\$ 1,492.18
2	COSTO DE ACCESORIOS Y DISPOSITIVOS	\$ 4,156.92
3	COSTO DE SERVICIOS Y TRATAMIENTOS ESPECIALES	\$ 1990.79
4	COSTO DE MANO DE OBRA	\$ 1,760.00
5	COSTO DE MATERIAL INDIRECTO	\$ 349.00
6	COSTO DE SERVICIO Y ADICIONALES INDIRECTOS	\$ 218.50
	Subtotal	\$ 9,967.39
	UTILIDAD 50%	\$ 4,983.70
	Total	\$ 14,951.09

CAPITULO VII

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 CONCLUSIONES

- El diseño de una máquina tinturadora, secadora y enrolladora de papel para la producción de serpentinas para la empresa EMPACMACHINE es un aporte en el área de investigación de máquinas bobinadoras y tinturadoras, abierta por la empresa para dar cumplimiento a las necesidades del cliente, el presente trabajo sirve a EMPACMACHINE para iniciar con la construcción de la máquina.
- Se dimensionaron y seleccionaron los elementos mecánicos, electrónicos y eléctricos, utilizando catálogos de distribuidores y fabricantes nacionales.
- Se diseñaron las partes mecánicas, analizando el trabajo a realizar por cada una, todas están descritas en sus respectivos planos constructivos para efectos de fabricación.
- La programación fue realizada para cumplir la secuencia del proceso, el programa consta de las seguridades pertinentes, a través del HMI se puede modificar los parámetros de operación y revisar el funcionamiento de cada actuador en el modo de mantenimiento.
- En la simulación se comprobó que el programa realizado satisface en su totalidad la secuencia de funcionamiento del proceso de manera cíclica.
- Con el análisis de costos realizado la empresa EMPACMACHINE tiene claro el valor a invertir en el desarrollo de la máquina y la ganancia que esta le puede generar que es de \$ 4983.
- La máquina realizará 1000 rollos de papel tinturado en 8 horas, de esta manera se supera el 50% de aumento en la producción, que es uno de los requerimientos del cliente.

7.2 RECOMENDACIONES

- El programa realizado puede ser modificado, en caso que se desee llevar un monitoreo de la cantidad de rollos producidos
- Se recomienda que todos los pistones neumáticos tengan reguladores de caudal para tener un mejor control de cada uno durante la calibración de la máquina.
- Se recomienda un sistema de alimentación constante de tinta en la bandeja de pintura para que no se lo haga de forma manual cada que está se vacíe.
- Es recomendable lavar el rodillo vulcanizado una vez terminado el proceso para evitar que residuos de pintura tapen los poros del caucho y pierda absorción.

BIBLIOGRAFÍA

- papelesbiobio.cl. (2015). Obtenido de <http://www.papelesbiobio.cl/pdiario.html>
- acdrivecn.com. (2015). Obtenido de www.acdrivecn.com
- airtac.com. (2015). Obtenido de www.airtac.com
- amawebs.com. (2014). amawebs.com. Obtenido de <http://www.amawebs.com/storage/docs/h55dq54bhiu.pdf>
- apiro.com. (2015). Obtenido de <http://www.apiro.com/CatalogoEjesINA.pdf>
- app.tecsup.edu.pe. (2015). app.tecsup.edu.pe. Obtenido de <http://app.tecsup.edu.pe/file/campus/docs/tmp/1416937472224.docx>
- automatica.mex.tl. (2015). automatica.mex.tl. Obtenido de <http://www.automatica.mex.tl/imagesnew/5/0/1/4/2/GUIA%20NEUMATIC A%205.pdf>
- bulldog-uk. (2014). bulldog-uk.com. Obtenido de bulldog-uk.com: <http://www.bulldog-uk.com/uncoller.htm>
- bulldog-uk. (2015). Obtenido de <http://www.bulldog-uk.com/uncoller.htm>
- bulldog-uk. (2015). bulldog-uk.com. Obtenido de bulldog-uk.com: <http://www.bulldog-uk.com/uncoller.htm>
- eduardocortina.com. (2015). Obtenido de http://www.eduardocortina.com/archivos/familias/Tubo_y_Acc_Acero_Inoxidable_2010_03_29_13_16_45.pdf
- e-educativa.catedu.es. (2015). Obtenido de http://e-educativa.catedu.es/44700165/aula/archivos/repositorio/3000/3020/html/133_conexin_en_tringulo.html
- engagemachinery. (2015). engagemachinery.com. Obtenido de engagemachinery.com: <http://www.engagemachinery.com/decoilers.asp>
- EXAPRO. (2015). exapro.com. Obtenido de www.exapro.com.
- Fitzgerlad. (2012).
- gestion de la calidad total. (2014). Obtenido de http://www.gestiondecalidadtotal.com/casa_de_la_calidad.html

- grupogemidi.es. (2015). Obtenido de
http://www.grupogemidi.es/descargas/gemidi_6%C2%BA_reles_termicos_2010.pdf
- industriassanfor.com. (2015). Obtenido de
<http://industriassanfor.com/pdf/catalogo-airtac.pdf>
- ingeborda.com. (2015). ingeborda.com. Obtenido de
[http://www.ingeborda.com.ar/biblioteca/Biblioteca%20Internet/Articulos%20Tecnicos%20de%](http://www.ingeborda.com.ar/biblioteca/Biblioteca%20Internet/Articulos%20Tecnicos%20de%20)
- Karl T. Ulrich, S. D. (2013). Diseño y desarrollo de productos.
- kountaras.com. (2015). Obtenido de
http://www.kountaras.com/documentos_html/tubulares.html
- Lobosco. (2013).
- myslide.es. (2014). myslide.es. Obtenido de
<http://myslide.es/documents/presentacion-de-motores.html>
- nichese.com. (2015). Obtenido de <http://www.nichese.com/seccionador.html>
- oocities. (2014). Obtenido de
http://www.oocities.org/mx/gunm_dream/evproy.html
- Portaleso. (2015). <http://portal.portaldidactico.es/Otros-portales-educativos/PortalESO-Portal-Educativo-l1203.html>. Obtenido de <http://portal.portaldidactico.es/Otros-portales-educativos/PortalESO-Portal-Educativo-l1203.html>.
- ricotox.weebly.com. (2014). ricotox.weebly.com. Obtenido de
http://ricotox.weebly.com/uploads/1/1/1/9/11194033/que_es_anilina_ppal_es_usos...pdf
- Romeva, C. R. (2010). Diseño concurrente.
- techdesing.com. (2015). Obtenido de www.techdesing.com
- ttemsa. (2014). ttemsa.com. Obtenido de ttemsa.com:
<http://ttemsa.mx/stanfordM242252HC.html>
- varvel.com. (2015). Obtenido de www.varvel.com
- vemacero.com. (2015). Obtenido de
<http://www.vemacero.com/Tablas/A53MP.pdf>

vemacero.com. (2015). Obtenido de
<http://www.vemacero.com/Tablas/A53MP.pdf>

voltech.com. (2014). Obtenido de www.voltech.com

wikipedia. (2014). Obtenido de <http://es.wikipedia.org/wiki/Gramaje>

xinje.com. (2015). Obtenido de www.xinje.com