



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

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

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

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

**TEMA: INGENIERÍA INVERSA, REDISEÑO Y PUESTA EN MARCHA
DE LA MÁQUINA PF-1000M PARA LA EMPRESA INCOREA CABLES**

AUTORES:

DUQUE CEDILLO, KAREN ESTEFANIA

ESPINOSA ANDRADE, ANDRÉS FABIÁN

DIRECTOR: ING. ESCOBAR CARVAJAL, LUIS FERNANDO

SANGOLQUÍ

2018

CERTIFICADO DEL DIRECTOR



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

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, ***“INGENIERÍA INVERSA, REDISEÑO Y PUESTA EN MARCHA DE LA MÁQUINA PF-1000M PARA LA EMPRESA INCOREA CABLES”*** fue realizado por la señorita ***Duque Cedillo, Karen Estefania*** y el señor ***Espinosa Andrade, Andrés Fabián*** el mismo que ha sido revisado en su totalidad, analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 21 de junio de 2018

Firma:

Director: Ing. Escobar Carvajal, Luis Fernando

C.C.: 1002403200

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, **Duque Cedillo, Karen Estefania** y **Espinosa Andrade, Andrés Fabián**, declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **Ingeniería Inversa, Rediseño y Puesta en Marcha de la Máquina PF-1000M para la empresa INCOREA CABLES**, es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Consecuentemente el contenido de la investigación mencionada es veraz.

Sangolquí, 21 de junio de 2018

Duque Cedillo Karen Estefania

C.C.: 2300203789

Espinosa Andrade Andrés Fabián

C.C.: 1718832791

AUTORIZACIÓN



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

AUTORIZACIÓN

Nosotros, *Duque Cedillo, Karen Estefania y Espinosa Andrade, Andrés Fabián*, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: *Ingeniería Inversa, Rediseño y Puesta en Marcha de la Máquina PF-1000M para la empresa INCOREA CABLES* en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

Sangolquí, 21 de junio de 2018

Duque Cedillo Karen Estefania

C.C.: 2300203789

Espinosa Andrade Andrés Fabián

C.C.: 1718832791

DEDICATORIA

El presente trabajo es dedicado a mis padres amados Jeovani y Narcisa, quienes con su infinito amor, paciencia y experiencia con la vida; me han sabido educar de la mejor forma posible, inculcándome valores y responsabilidades que me permitan ser mejor cada día, además siendo ellos, las personas quienes me brinden soporte, seguridad y confianza para llegar a cumplir cada una de mis metas propuestas. Es este sentimiento de amor y apoyo incondicional, el cual me ha motivado a cumplir con este proceso de formación académica, logrando concluir con una meta más en mi vida.

A mis hermanos y familia en general, que han sabido preocuparse por mí, brindándome su apoyo incondicional.

A mis compañeros de la Universidad, quienes me brindaron su amistad a lo largo de este proceso de formación académica, convirtiéndose en parte de mi familia.

Karen E. Duque Cedillo.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres Fabián y Amparito que con su cariño, amor y apoyo incondicional me han inculcado los valores necesarios para actuar de manera correcta en el diario vivir, al igual que me han enseñado que la perseverancia rinde frutos por lo cual nunca voy a dejarme vencer ante ninguna adversidad.

Todo este esfuerzo se lo dedico a ellos porque son el motor de nuestra familia, el mejor ejemplo que un hijo puede tener ya me enseñaron a nunca dejar de soñar, nunca dejar de sonreír, nunca dejar de avanzar.

Andrés F. Espinosa Andrade.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por estar presente en mi vida, por iluminar mi camino orientando mis pasos, brindándome calma y sabiduría ante las adversidades que se presentan diariamente, pero más que todo agradezco a Dios por los buenos momentos vividos, por esos momentos que te hacen agradecer que existes y que estás vivo, y que eres Tú quién los está disfrutando y en especial agradezco a Dios por permitirme compartir de todas estas experiencias con unos padres como los míos.

Agradezco para toda mi vida a cada uno de mis padres, Jeovani y Narcisa, porque a pesar de que nosotros los seres humanos tenemos imperfecciones, ellos tratan de ser lo más perfectos posible, procurando mi bien y el de mis hermanos Jessica, Geovanny y Damián, mediante sus consejos, experiencia, apoyo y cariño incondicional.

Agradezco a mi familia, por el debido tiempo y dedicación hacia mí, pero en especial agradezco a mi abuelita Gloria, porque es ella el centro de nuestra familia, es ella la que siempre está ahí, preocupándose por cada uno de nosotros, para que seamos mejores personas.

Agradezco infinitamente al Ing. Luis Escobar Carvajal por ser el director de este proyecto, porque gracias a su tiempo, apoyo y sugerencias, me ha permitido concluir con éxito una de las metas más anheladas de mi vida.

Karen E. Duque Cedillo.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mis padres y hermanos por siempre estar presentes con sus palabras de aliento para apoyarme y motivarme a continuar sin mirar atrás, por saber que cuento con ustedes y que su mano siempre estará extendida para brindarme apoyo en cualquier situación.

Agradezco cada una de sus sonrisas y miradas de felicidad ya que manifiestan el orgullo que sienten por mí, lo cual me llena como hijo y motiva a siempre seguir dando lo mejor de mí. Fabián, Amparito, Paola y Paúl ustedes son la brújula que guía mis pasos y les agradezco con el corazón y mi alma este y muchos éxitos más.

Andrés F. Espinosa Andrade.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICADO DEL DIRECTOR	i
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD	ii
AUTORIZACIÓN.....	iii
DEDICATORIA	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vi
AGRADECIMIENTO	vii
ÍNDICE DE CONTENIDOS	viii
ÍNDICE DE TABLAS	xii
ÍNDICE DE FIGURAS	xiii
RESUMEN.....	xviii
ABSTRACT.....	xix
CAPÍTULO I.....	1
GENERALIDADES	1
1.1. Antecedentes.....	1
1.2. Justificación	2
1.3. Objetivos.....	3
1.3.1. Objetivo General	3
1.3.2. Objetivos específicos	4
1.4. Área de influencia	4
CAPÍTULO II.....	5
MARCO TEÓRICO	5
2.1 La Empresa	5

2.2	Cables eléctricos	6
2.3	Proceso de Producción.....	8
2.3.1	Adquisición de Materia Prima	9
2.3.2	Preparación de Materia Prima	9
2.3.3	Producción de Cable Eléctrico.....	10
2.3.4	Almacenamiento.....	13
2.3.5	Despacho al Cliente	14
2.4	Elementos de Máquinas y Sistemas	14
2.4.1	Sistema Mecánico	14
2.4.2	Sistema Hidráulico	14
2.4.3	Sistema Neumático	16
2.4.4	Sistema de Transmisión de Movimiento	18
2.4.5	Motor Eléctrico	18
2.4.6	Driver Variador de Velocidad.....	19
2.4.7	Control Industrial	20
2.4.8	Sistema de Control.....	20
CAPÍTULO III.....		22
ANÁLISIS DEL ESTADO ACTUAL DE LA MÁQUINA.....		22
3.1	Análisis de Elementos Presentes.....	24
3.1.1.	Subsistema Hidráulico.....	24
3.1.2.	Subsistema Neumático.....	29
3.1.3.	Subsistema Mecánico	31
3.1.4.	Subsistema Eléctrico	34
3.1.5.	Subsistema de Control	37

3.2. Levantamiento de Necesidades	39
3.2.1. Subsistema Hidráulico	40
3.2.2. Subsistema Mecánico	40
3.2.3. Subsistema Eléctrico	41
3.2.4. Subsistema de Control	42
CAPÍTULO IV	43
DESARROLLO DEL REDISEÑO	43
4.1 Rediseño del Subsistema Mecánico	43
4.1.1 Selección Equipos Sistema Hidráulico	43
4.1.2 Mantenimiento Subsistema de Movimiento Horizontal	60
4.1.3 Mantenimiento Sistema Neumático	63
4.1.4 Implementación del Sistema Repartidor	64
4.2 Rediseño del Subsistema Eléctrico	95
4.2.2 Selección Equipos Sistema Eléctrico	95
4.3 Rediseño del Subsistema de Control	104
4.3.2 Selección de Equipo	104
4.3.3 Selección Tipo de Controlador	106
4.3.4 Selección de Método para Ajuste de Controlador	107
4.3.5 Sintonización del Controlador	108
CAPÍTULO V	111
PRUEBAS Y RESULTADOS	111
5.1. Desarrollo del Protocolo de Pruebas	111
5.2. Pruebas y Resultados del Sistema Mecatrónico General	125
CAPÍTULO VI	131

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	131
6.1. Conclusiones	131
6.2. Recomendaciones	133
BIBLIOGRAFÍA.....	135

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Tipos de cables</i>	7
Tabla 2 <i>Tipos de cables producidos por la empresa</i>	7
Tabla 3 <i>Descripción del antes y después de máquina pf-1000m</i>	24
Tabla 4 <i>Descripción cilindros hidráulicos</i>	25
Tabla 5 <i>Descripción válvula</i>	26
Tabla 6 <i>Descripción de depósito o tanque</i>	27
Tabla 7 <i>Descripción mangueras hidráulicas</i>	27
Tabla 8 <i>Descripción válvula de alivio</i>	28
Tabla 9 <i>Descripción cilindro neumático</i>	30
Tabla 10 <i>Descripción de unidad de mantenimiento</i>	31
Tabla 11 <i>Descripción tornillo de potencia trapezoidal</i>	32
Tabla 12 <i>Descripción piñón y cadena</i>	33
Tabla 13 <i>Descripción caja reductora</i>	34
Tabla 14 <i>Descripción motor 220/440 vac</i>	35
Tabla 15 <i>Descripción motor 440vac</i>	35
Tabla 16 <i>Descripción freno electromagnético</i>	36
Tabla 17 <i>Descripción elementos de control</i>	37
Tabla 18 <i>Requerimiento de bomba hidráulica</i>	40
Tabla 19 <i>Requerimiento de sistema repartidor de cable</i>	41
Tabla 20 <i>Requerimiento del variador de frecuencia</i>	41
Tabla 21 <i>Requerimientos del transformador eléctrico</i>	42
Tabla 22 <i>Requerimiento del controlador</i>	42
Tabla 23 <i>Medición del diámetro de la esfera</i>	48
Tabla 24 <i>Medición de velocidad de caída</i>	49
Tabla 25 <i>Densidad del aceite y esfera</i>	49
Tabla 26 <i>Característica de bomba hidráulica</i>	59
Tabla 27 <i>Resumen de fuerza p1 y p2 en eje x, z</i>	67
Tabla 28 <i>Materiales del repartidor</i>	71

Tabla 29 <i>Cargas aplicadas fuerza 1</i>	73
Tabla 30 <i>Cargas aplicadas fuerza 2</i>	74
Tabla 31 <i>Resumen de resultados</i>	74
Tabla 32 <i>Características motor - repartidor</i>	79
Tabla 33 <i>Selección sistema de transmisión</i>	81
Tabla 34 <i>Descripción del comportamiento del acero</i>	87
Tabla 35 <i>Distribución de cargas aplicadas fuerza 1</i>	88
Tabla 36 <i>Distribución de cargas aplicadas fuerza 2</i>	88
Tabla 37 <i>Resumen de resultados</i>	90
Tabla 38 <i>Selección de equipos</i>	104
Tabla 39 <i>Selección tipo de controlador</i>	106
Tabla 40 <i>Pruebas k_p variable, $t_i = inf$, $t_d = 0$</i>	108
Tabla 41 <i>Protocolo de pruebas hidráulicas</i>	113
Tabla 42 <i>Protocolo de pruebas neumáticas</i>	116
Tabla 43 <i>Protocolo de pruebas mecánicas</i>	118
Tabla 44 <i>Protocolo de prueba inicial del sistema eléctrico y de control</i>	121
Tabla 45 <i>Protocolo de segunda prueba del sistema eléctrico y de control</i>	123
Tabla 46 <i>Protocolo de prueba final del sistema eléctrico y de control</i>	124
Tabla 47 <i>Protocolo de pruebas del sistema mecatrónico general</i>	125

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. <i>Máquina automática PF-1000M</i>	1
Figura 2. <i>Tablero de Control Desmantelado</i>	2
Figura 3. <i>Proceso de trefilado</i>	3
Figura 4. <i>Trenzadora de 7 hilos</i>	6
Figura 5. <i>Proceso de enchaquetado</i>	6
Figura 6. <i>Alambre desnudo</i>	7
Figura 7. <i>Alambre aislado</i>	7

Figura 8. Cable flexible	7
Figura 9. Conductor de cordón.....	7
Figura 10. Proceso de Producción	9
Figura 11. Materia Prima.....	10
Figura 12. Preparación de Materia Prima.....	10
Figura 13. Proceso de Producción de Cable	10
Figura 14. Operación de Trefilado.....	11
Figura 15. Máquina Trenzadora	12
Figura 16. Cable Trenzado.....	12
Figura 17. Recubierta de XLPE o PVC.....	12
Figura 18. Marcaje del Cable	13
Figura 19. Componentes Sistema Hidráulico	16
Figura 20. Esquema Sistema Neumático	17
Figura 21. Preparación del Aire.....	17
Figura 22. Tornillo Sin Fin	18
Figura 23. Motor Eléctrico AC	19
Figura 24. Siemens V20.....	20
Figura 25. Contactor SIRUS 3RT20	20
Figura 26. Sistema de Control.....	21
Figura 27. Máquina Pay-Off, modelo PF-1000M	23
Figura 28. Cilindros Hidráulicos - Sistema de Elevación	25
Figura 29. Válvula Solenoide 220VAC	26
Figura 30. Depósito de fluido	27
Figura 31. Válvula de Alivio.....	28
Figura 32. Válvula Antirretorno.....	29
Figura 33. Mecanismo Regulador de Tensión	29
Figura 34. Cilindro Neumático 40X 150 S-LB.....	30
Figura 35. Unidad de Mantenimiento	31
Figura 36. Tornillo de Potencia.....	32
Figura 37. Tuerca.....	32

Figura 38. Piñón y Cadena.....	33
Figura 39. Reductora de Tornillo Sin Fin	34
Figura 40. Motor 220/440VAC (Izquierda), Placa Técnica (Derecha)	35
Figura 41. Motor 440VAC (Izquierda), Placa Técnica (Derecha)	36
Figura 42. Freno Electromagnético	36
Figura 43. Contactor Magnético Shihlin s-p21	37
Figura 44. Contactor Shihlin s-p11	37
Figura 45. Relé Térmico Shihlin TH-p12	37
Figura 46. Relé de Sobrecarga	38
Figura 47. Relé OMRON	38
Figura 48. Relé STON.....	38
Figura 49. Timer ANLY	38
Figura 50. Portafusibles	38
Figura 51. Relé Auxiliar DRM.....	39
Figura 52. Resistencia de frenado.....	39
Figura 53. Breaker de 3 fases	39
Figura 54. Palanca de Mandos.....	39
Figura 55. Tipos de actuadores hidráulicos	44
Figura 56. Sistema de levantamiento máquina PF-1000M	44
Figura 57. Caracterización del aceite hidráulico de la máquina PF-1000M	45
Figura 58. Probeta con aceite	46
Figura 59. Medición de la velocidad de la esfera en el líquido.....	47
Figura 60. Aceite en probeta	47
Figura 61. ASTM (0-341-43) Viscosidad cinemática – Temperatura	52
Figura 62. Características máquina PF-1000M	53
Figura 63. Catálogo bomba PGH Serie 2	55
Figura 64. Gráfica presión - Caudal PGH Serie 2.....	55
Figura 65. Gráfica presión - Caudal PGH Serie 2.....	59
Figura 66. Subsistema de movimiento horizontal	61
Figura 67. Tuerca del Conjunto Tornillo Sin Fin	61

Figura 68. Conjunto Motor, Piñón-Cadena	61
Figura 69. Prueba de dobles del tornillo de potencia	62
Figura 70. Sistema Neumático Máquina PF-1000M	63
Figura 71. Cilindro neumático acoplado al Pivote	64
Figura 72. Sistema repartidor	65
Figura 73. DCL Plano XY	65
Figura 74. DCL Plano XZ	66
Figura 75. DCL plano XZ.....	67
Figura 76. Diagrama de Fuerza Cortante y Momento Flector XY	68
Figura 77. Diagrama de Fuerza Cortante y Momento Flector XZ	69
Figura 78. Torque.....	70
Figura 79. Restricción fija 1	72
Figura 80. Restricción fijo 2	73
Figura 81. Cargas Aplicadas	74
Figura 82. Tensión de Von Mises	75
Figura 83. Factor de seguridad	76
Figura 84. Desplazamiento Máximo - Eje Z.....	76
Figura 85. Esfuerzo-Número de Ciclos.....	78
Figura 86. Número de Ciclos de Vida.....	79
Figura 87. Motor para Repartidor	80
Figura 88. Diseño de Transmisión.....	83
Figura 89. Selección del Paso de Cadena	84
Figura 90. Rango de Potencia Cadena ANSI 40	85
Figura 91. Soporte repartidor - CAD.....	86
Figura 92. Restricción fija 1	88
Figura 93. Cargas Aplicadas	89
Figura 94. Tensión de Von Mises.....	91
Figura 95. Desplazamiento Máximo	91
Figura 96. Factor de Seguridad.....	92
Figura 97. Estado Previo Sistema Repartidor.....	93

Figura 98. Limpieza y Engrasado de Sistema Repartidor.....	93
Figura 99. Reemplazo rodamientos 6001.....	93
Figura 100. Reemplazo rodamientos 6702.....	94
Figura 101. Reemplazo eje roscado M12.....	94
Figura 102. Bases Empernadas a la Máquina.....	95
Figura 103. Proceso de Pintura.....	95
Figura 104. Variador Mitsubishi A700.....	97
Figura 105. Selección Variador de Frecuencia.....	97
Figura 106. Modelo: VPP36–140 Ele	99
Figura 107. Corriente Nominal de Fusibles	101
Figura 108. Selección Calibre Conductor	102
Figura 109. Comparación Tipos de Sensores de Temperatura	105
Figura 110. Características BTC-9100	106
Figura 111. Lazo de Control PI.....	107
Figura 112. Oscilación Sostenida.....	109
Figura 113. Reglas de Sintonía Ziegler-Nichols	109
Figura 114. Gráfica de controlador PI.....	110
Figura 115. Funcionamiento de Controles (izquierda) y (derecha)	127
Figura 116. Sistema de Sujeción.....	128
Figura 117. Sistema de Elevadores; Posición Arriba y Abajo	128
Figura 118. Sistema Funcional en Conjunto.....	130

RESUMEN

La empresa INCOREA CABLES solicita que la máquina PF-1000M vuelva a tener plena operación tras el robo de elementos y componentes durante su proceso de importación hacia el país, de igual manera se solicita que la máquina Pay Off modelo PF-1000M cambie su función, pasando de entregar cable a la línea de producción por la recepción del mismo al final de la línea mediante la implementación de un sistema repartidor de cable, por lo cual se debe realizar un rediseño de la misma para que cumpla con dicho objetivo. Después de un proceso de ingeniería inversa en donde se realiza un análisis de requisitos y especificaciones de componentes de cada sistema y subsistema se establecen las características funcionales de los procesos y subprocesos que realiza la máquina, con lo cual se procedió a diseñar y rediseñar ciertos elementos para que la máquina sea puesta en marcha correctamente dentro de un ambiente industrial y cambie su función de entregador de materia prima a receptor de producto procesado. Después de una serie de pruebas a los distintos sistemas y subsistemas se aprobó la puesta en marcha y funcionamiento de la máquina dentro del proceso de producción de cable eléctrico por parte de la empresa INCOREA CABLES.

Palabras Clave.-

- **MÁQUINA PAY-OFF**
- **FABRICACIÓN DE CABLE ELÉCTRICO**
- **SISTEMA REPARTIDOR**
- **BOBINADO DE CABLE**

ABSTRACT

The company INCOREA CABLES requests that the machine PF-1000M return to have full operation after the theft of elements and components during its process of importation to the country, in the same way it is requested that the machine Pay Off model PF-1000M change its function, going from delivering cable to the production line by receiving it at the end of the line through the implementation of a cable delivery system, for which a redesign of the cable must be carried out so that it meets that objective. After a reverse engineering process where an analysis of requirements and specifications of components of each system and subsystem is made, the functional characteristics of the processes and subprocesses that the machine makes are established, which proceeds to design and redesign certain elements so that the machine is properly commissioned within an industrial environment and changes its role as a delivery agent of raw material to a receiver of processed product. After a series of tests to the different systems and subsystems, the start-up and operation of the machine was approved within the process of electric cable production by the company INCOREA CABLES.

Keywords.-

- **PAY-OFF MACHINE**
- **MANUFACTURE OF ELECTRICAL CABLE**
- **DISTRIBUTOR SYSTEM**
- **CABLE WINDING**

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1.1. Antecedentes

INCOREA CABLES es una empresa importadora, comercializadora y fabricante de cables para uso eléctrico, telefónico y comunicación (fibra óptica) a nivel nacional. Fue creada hace 16 años por iniciativa personal, posteriormente observaron que en el mercado eléctrico, doméstico e industrial existía una creciente demanda de estos productos por lo que se enfocaron en satisfacer la necesidad de estos segmentos, generando 40 plazas de empleo directo, de esta manera contribuyen al desarrollo del país.

La máquina pay – off modelo PF-1000M (ver) se utiliza dentro de la industria de fabricación de cables eléctricos como elemento inicial de diferentes líneas de producción, siendo su función suministrar la materia prima (Alambrón) hacia los procesos de extrusión, trefilado, enrollado, etc. La empresa INCOREA CABLES cuenta con una máquina de este modelo, pero solicita que la misma sea rediseñada y puesta en marcha de tal manera que cumpla con la función de recibir el cable procesado en cualquiera de las líneas de producción.

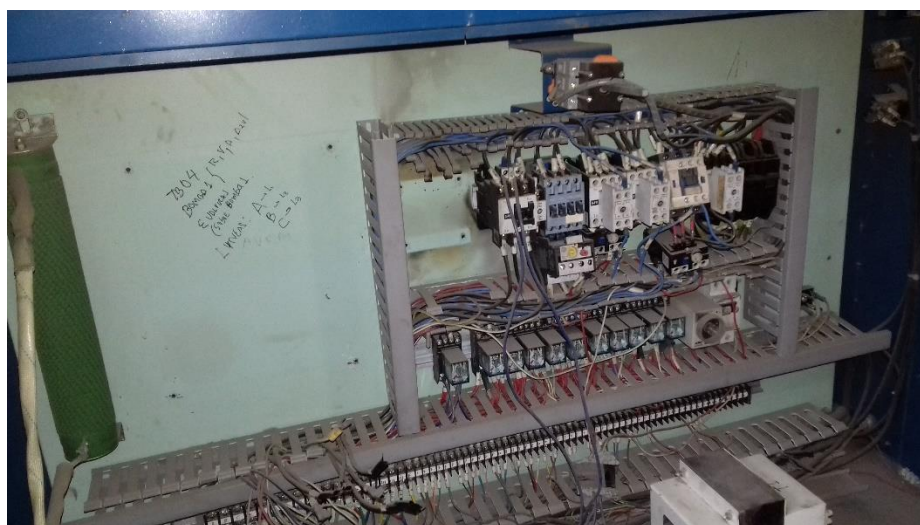


Figura 1. Máquina automática PF-1000M
Fuente: (Yessjet, 2015)

Según lo mencionado anteriormente, este proyecto es esencial para la empresa INCOREA CABLES ya que dicha máquina debe estar operativa en el menor tiempo posible, para cumplir con la función de bobinar el producto de cualquiera de las líneas de producción que se han planificado montar en la fábrica durante el segundo semestre del año en curso. Con lo cual al llevarse a cabo con éxito la empresa podrá cumplir con su objetivo de producir cables eléctricos de calidad.

1.2. Justificación

La máquina pay – off modelo PF-1000M fue adquirida en Perú, durante el proceso de importación fueron sustraídos componentes mecánicos, electrónicos y de control (ver Figura 2), lo cual derivó en la pérdida de su capacidad operativa, la misma tenía como función proveer de materia prima a las diferentes líneas de producción, desenrollando el cable del carrete a una velocidad establecida y controlando la tensión del cable en el proceso.



Por lo cual el propósito principal del proyecto es realizar: ingeniería inversa, rediseño y puesta en marcha de la máquina para que la empresa pueda hacer uso de la misma, además de modificar la función para la cual fue diseñada, convirtiéndola en una máquina bobinadora contando con un repartidor el cual distribuirá de manera uniforme el cable a lo largo del carrete y así utilizarla como elemento final del proceso de trefilado (ver Figura 3).

La línea de trefilado aportará en el esquema de fabricación de cables eléctricos procesando los diferentes tipos y calibres de alambre necesarios para la elaboración de cables de alta o media tensión, a partir de un alambre de aluminio de 9.5 mm de diámetro. Disminuyendo así la importación de materia prima procesada, sustituyéndola por materia prima sin procesar, abaratando los costos de fabricación de cables eléctricos en un 5%.

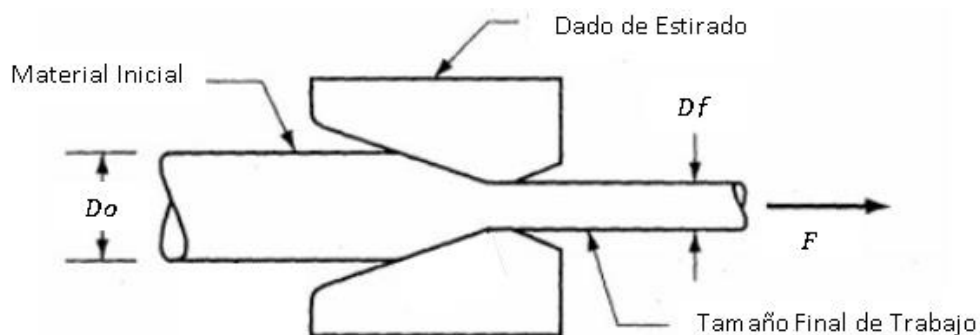


Figura 3. Proceso de trefilado

Fuente: (Groover & P., 1997)

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Repotenciar la máquina Pay-Off modelo PF-1000M para que trabaje dentro de la línea de trefilado en la fábrica INCOREA CABLES.

1.3.2. Objetivos específicos

Analizar los subsistemas presentes en la máquina para determinar el proceso principal, subprocesos y sistemas mecánicos, electrónicos y de control.

Identificar componentes presentes y faltantes dentro del conjunto para realizar el levantamiento de necesidades.

Implementar un sistema bobinador de cable para arrollar el producto terminado.

Puesta en marcha de la máquina para su funcionamiento en un ambiente industrial.

1.4. Área de influencia

Mediante la ejecución de este proyecto, la empresa continuará con la implementación de nuevas líneas de producción, lo cual genera plazas de trabajo para la comunidad del cantón Mejía. De igual manera con nuevos procesos como el de trefilado los costos de fabricación se reducen de tal manera que la empresa tiene mayor competitividad dentro del mercado nacional.

La fabricación de cables eléctricos que cumplen estándares y normas de calidad disminuye la importación de estos productos, de tal manera que la fábrica INCOREA CABLES aporta con el cambio de la matriz productiva nacional que se alinea con los objetivos de enseñanza de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 La Empresa

INCOREA CABLES es una empresa creada en el año 2002 en la ciudad de Quito, con el objetivo de distribución y venta de cables eléctricos a nivel local, con el pasar de los años la empresa creció importando materiales para nuevas fuentes de negocio como son las comunicaciones y redes de datos con cable UTP y fibra óptica. A partir del año 2014 se estableció la fábrica en el Cantón Mejía – Ciudad de Machachi, enfocada en la producción de cables eléctricos para redes de media y alta tensión, la cual inicialmente contaba con dos trenzadoras para cables de 7 hilos desnudo (ver Figura 4), al tener mayor demanda se procedió a montar dos líneas más de trenzadoras y la creación de un galpón para bodegaje de materia prima y productos terminados. Paralelamente se desarrolla un proyecto que culmina con la puesta en marcha de 2 líneas de extrusión (ver Figura 5) las cuales sirven para realizar el recubrimiento del cable desnudo (enchaquetado) ampliando así la gama de productos ofertados con producción propia.

Actualmente la fábrica oferta distintos tipos de cables (ACSR, Multiplex, ASC, AAC, AAAC, ACAR, TTU) y se encuentra en proceso de ampliación implementando la línea de trefilado o estirado en frío la cual disminuirá los costos de producción disminuyendo la importación de materia prima trefilada.



Figura 4. Trenzadora de 7 hilos




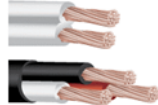


Figura 5. Proceso de enchaquetado

2.2 Cables eléctricos

Los cables eléctricos son un conjunto de elementos conductores que en la mayoría de los casos se encuentran recubiertos por un material aislante, en los circuitos eléctricos son elementos pasivos encargados de transmitir la corriente cuando se aplica un diferencial de voltaje, que permite el flujo de electrones libres desde el cátodo al ánodo. Estos pueden ser fabricados en distintos materiales como son el cobre, aluminio y acero con sus distintas características físicas como la conductividad, peso, precio, etc. Dichas características agrupan los cables eléctricos por diferentes tipos (ver Tabla 1).

Tabla 1
Tipos de cables

Tipos	Descripción	Figura
Conductor de alambre desnudo	Alambre sólido no flexible sin recubrimiento aislante	 Figura 6. Alambre desnudo
Conductor de alambre aislado	Alambre sólido no flexible con recubrimiento aislante	 Figura 7. Alambre aislado
Conductor de cable flexible	Cable compuesto por varios hilos de alambre con recubrimiento aislante	 Figura 8. Cable flexible
Conductor de cordón	Conductor compuesto por varios cables flexibles, con recubrimiento adicional que los agrupa	 Figura 9. Conductor de cordón

Fuente: (Mas voltaje, 2017)

La empresa INCOREA CABLES actualmente produce cables de diferentes tipos y calibres, los cuales tienen distintas aplicaciones dentro del sector industrial y de transmisión de energía en media y alta tensión como se puede observar en la Tabla 2.

Tabla 2
Tipos de cables producidos por la empresa

Producto	Calibre (AWG)	Aplicación
Conductor con alma de acero e hilos de aluminio 1350 (ACSR)	1 – 4/0	Líneas de transmisión y distribución de energía eléctrica, alta resistencia a la tracción.

CONTINÚA

Conductor en aluminio 1350 (ASC)	1 – 4/0	Líneas de transmisión y distribución de energía eléctrica, bajo peso.
Aluminio Multiplex	1 – 4/0	Líneas de transmisión y distribución de energía eléctrica, alta resistencia a la corrosión.
Aleación de Aluminio 1350 (AAC)	1 – 4/0	Líneas de transmisión y distribución de energía eléctrica, bajo peso.
Aleación de Aluminio 6201 (AAAC)	1 – 4/0	Líneas de transmisión y distribución de energía eléctrica, bajo peso y soporta alta corrosión.
Conductor con alma de aleación de Aluminio 6201 e hilos en aluminio 1350	1 – 4/0	Líneas de transmisión y distribución de energía eléctrica, alta resistencia a la tracción.
Cobre TTU (SGT)	1 – 4/0	Instalaciones aéreas o enterradas, alta resistencia a la corrosión.

Fuente: (Incorea cables, 2014)

2.3 Proceso de Producción

A continuación, se presenta la secuencia a seguir para el proceso producción de cables eléctricos (ver Figura 10):

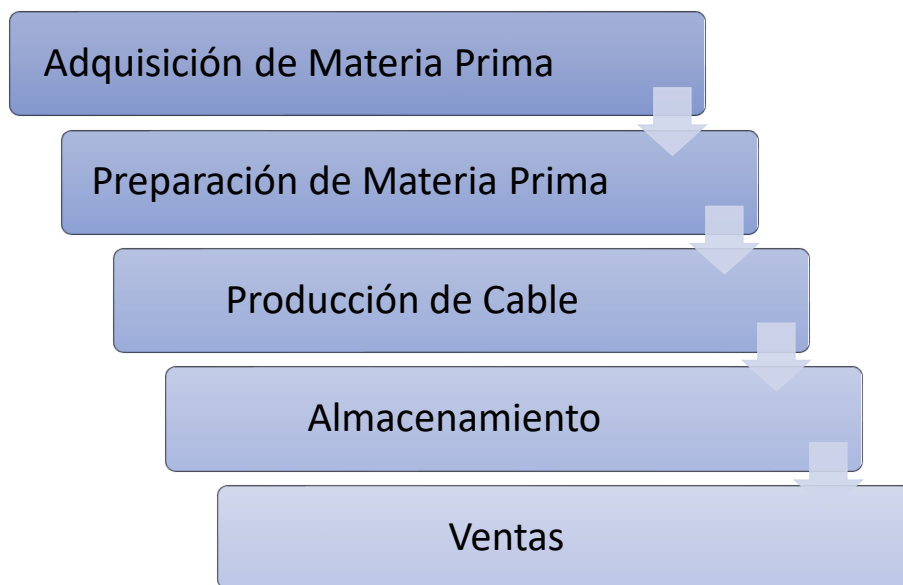


Figura 10. Proceso de Producción

2.3.1 Adquisición de Materia Prima

La empresa realiza la importación directa de materia prima de Aluminio desde China, Venezuela y la India, importada a través del puerto marítimo de Guayaquil para luego ser transportada en contenedores hacia la sucursal dispuesta en la ciudad de Machachi.

De igual forma, la empresa adquiere alambre galvanizado de acero desde la planta de ADELCA, el mismo que es transportado a la fábrica. Y también adquiere materia prima para el recubrimiento del cable desnudo (enchaquetado), el PVC proviene de la ciudad de Ambato y el polietileno es importando del Perú.

2.3.2 Preparación de Materia Prima

La materia prima proporcionada por los proveedores llega a la fábrica en carretes, ya sean estos: metálicos, de madera, plásticos o tipo spiders (ver Figura 11). Los carretes en los que llega la materia prima no presentan las dimensiones necesarias para ser

colocados dentro del proceso de producción. Por lo que se debe preparar cada uno de los hilos dentro de carretes adecuados, es decir, la materia prima debe estar colocada en carretes metálicos pequeños los mismos que tienen el ancho adecuado para ser sujetados por la máquina de trenzado (ver Figura 12).



Figura 11. Materia Prima



Figura 12. Preparación de Materia Prima

2.3.3 Producción de Cable Eléctrico

La producción de cable eléctrico dentro de la empresa se sujeta a los siguientes procesos (ver Figura 13):

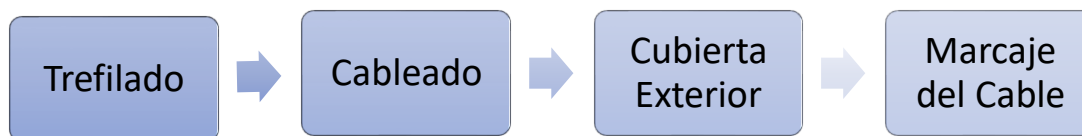


Figura 13. Proceso de Producción de Cable

- Trefilado: es una operación que consiste en utilizar una secuencia de dados que internamente cuenta con un agujero cónico, por los cuales se deja pasar un alambre permitiendo reducir la sección transversal de dicho alambre hasta conseguir el diámetro deseado (ver Figura 14). Este proceso se practica comúnmente en alambres de acero, cobre, aluminio y latón.

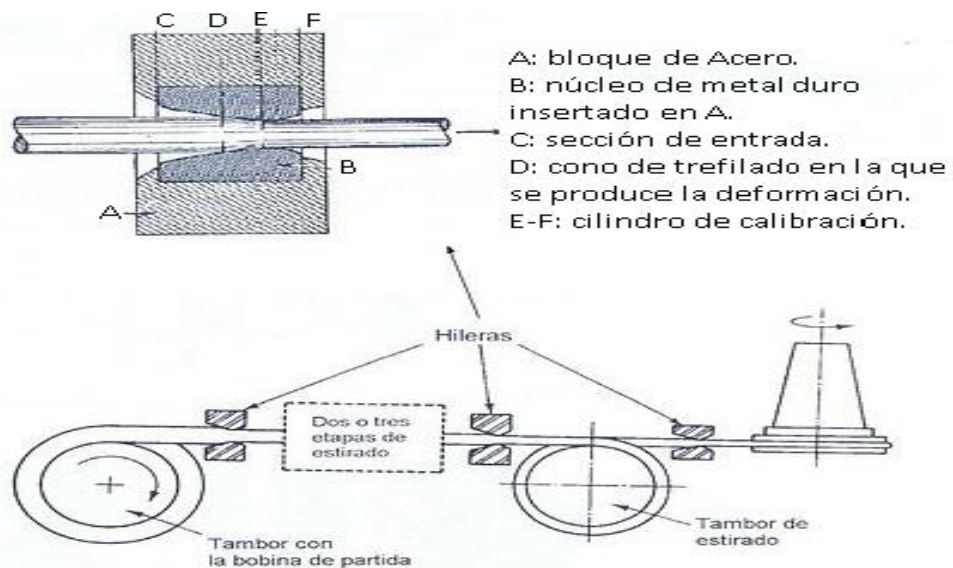


Figura 14. Operación de Trefilado

- Cableado: una vez obtenido los hilos de alambre y enrollado correctamente en carretes o bobinas, estos son colocados en una máquina trenzadora (ver Figura 15), la cual mediante un movimiento circular permite unir y enrollar en forma de cuerda los alambres para obtener un cable de mayor calibre, más flexible y con mejores características eléctricas.



Figura 15. Máquina Trenzadora



Figura 16. Cable Trenzado

- Recubrimiento con material aislante: A través del proceso de extrusión el cable desnudo es recubierto por una capa aislante de XLPE o PVC, protegiéndolo así de la presencia de humedad o daños mecánicos, esta protección es conocida como cubierta exterior o chaqueta.

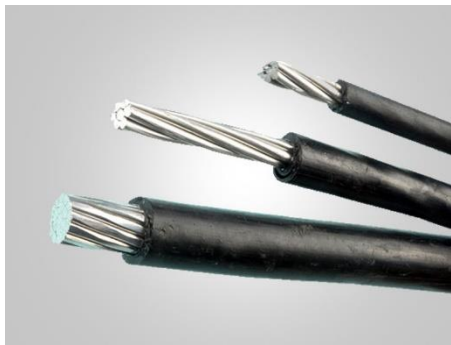


Figura 17. Recubierta de XLPE o PVC

- Marcaje del Cable: en este paso se utiliza un sistema de rotulación en base a tintas resistentes al desgaste o abrasión; colocando datos sobre la cubierta externa

como: fabricante, calibre, número de conductores y/o denominación comercial, proporcionando al consumidor datos importantes para su identificación y aplicación.



Figura 18. Marcaje del Cable

2.3.4 Almacenamiento

Una vez terminado el proceso de trenzado del cable y recogido a lo largo del carrete, este es retirado de la máquina trenzadora planetaria para prestarle dos tratamientos según el tipo de cable realizado:

- Para los carretes que cuentan con cable acerado, se mide una longitud de 200 metros para ser cortados, enrollados y almacenados en la bodega hasta su despacho.
- Si los carretes son del tipo Aluminum Strand Conductor (ASC) y Aluminum Conductors Steel Reinforced (ACSR) son embalados manualmente y etiquetados con la información del tipo de cable, calibre y cantidad en metros que se encuentran dispuestos dentro del carrete, luego son almacenados para su respectivo despacho.

Los carretes que tienen dispuestos dentro de su cuerpo cable con cubierta o enchaquetado, son organizados en forma de hileras al exterior del galpón de extrusión y

de igual forma cuentan con una etiqueta en la que se describe el tipo de cable, calibre y metraje.

2.3.5 Despacho al Cliente

El cliente que desea adquirir cables eléctricos se dirige a la oficina de INCOREA CABLES para realizar su respectivo pedido y cancelación, en caso de contar con producto final en la misma oficina es despachado en ese momento, caso contrario, la guía de remisión es emitida hacia la sucursal para su despacho. Para la entrega del producto final, la empresa INCOREA CABLES cuenta con una flota de tres camiones con capacidad de 10 toneladas, quienes están destinados hacer la entrega del producto a nivel nacional; considerando que la disposición interna dentro de los camiones, los carretes cuentan con sus extremos bloqueados y en contacto unos con otros para evitar que estos se rueden durante su transporte, además se encontraran dispuestos en línea recta y rodados para facilitar su respectiva descarga.

2.4 Elementos de Máquinas y Sistemas

2.4.1 Sistema Mecánico

Se encuentra constituido por diferentes elementos, los cuales acoplados de manera sistemática nos permiten transformar diferentes tipos de energía en movimiento.

2.4.2 Sistema Hidráulico

Son sistemas los cuales se encargan de transmitir fuerza y movimiento a través de circuitos conformado por una serie de elementos pasivos y activos por los cuales circula líquido. La ventaja principal de la utilización de estos sistemas es la posibilidad de transmitir fuerzas de gran magnitud a través, de elementos de tamaño reducido con la

posibilidad de tener un control sobre la maniobra a través de mandos y arreglos de componentes varios (ver Figura 19).

Dentro de los elementos activos y pasivos de un sistema hidráulico tenemos los siguientes:

- **Actuador Hidráulico:** elementos que utilizan la presión del fluido para ejercer su movimiento (cilindros, motores).
- **Redes de distribución:** es una instalación de cañerías o mangueras que conservan la presión y velocidad del líquido, dicha red cuenta con un sistema de retorno para poder reutilizar el líquido disponible en el tanque.
- **Elementos de Mando:** permiten el paso del aceite proveniente de la bomba hacia los actuadores.
- **Motor – Bomba:** elemento que convierte la energía mecánica en energía hidráulica, el cual envía el líquido almacenado en el tanque a lo largo de la red de distribución para utilizar su flujo o su presión.
- **Filtro de Retorno y de Aspiración:** empleado para separar las partículas generadas por el desgaste de las superficies dentro del sistema o por la presencia de partículas sólidas provenientes del exterior permitiendo alargar la vida útil del fluido.
- **Depósito de aceite o Tanque:** se encarga de almacenar el fluido, evitando que el líquido entre en contacto con partículas de suciedad dispuestas en el exterior, además tiene como función la de eliminar el calor que se genera en el fluido.

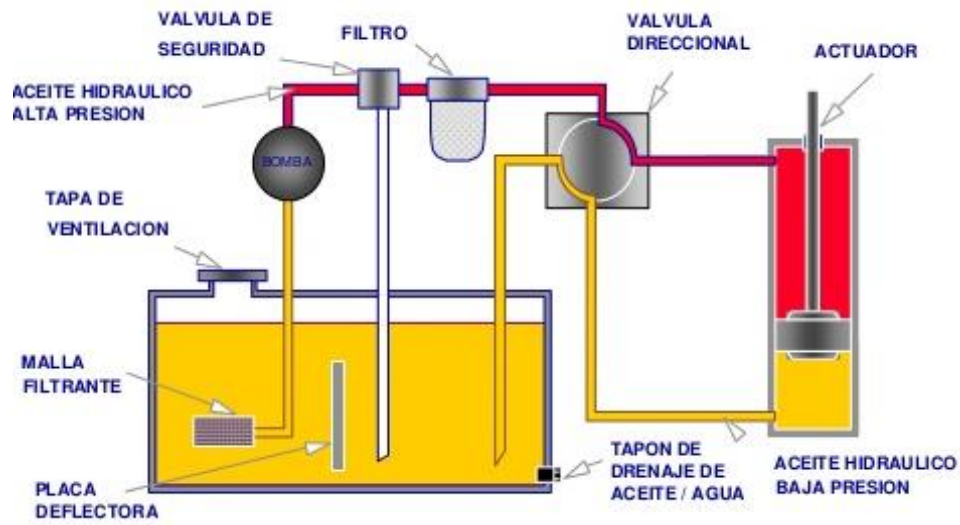


Figura 19. Componentes Sistema Hidráulico
Fuente: (Ingemecánica, 2017)

Para los sistemas hidráulicos se utilizan líquidos los cuales tienen la propiedad de ser prácticamente incompresibles, sirven de lubricante de los elementos metálicos presentes en el sistema (pistones, bombas, válvulas, etc.) y refrigeran el sistema. Por lo cual los líquidos más utilizados dentro de los sistemas hidráulicos son: Solución agua - glicol, emulsión de agua en aceite, aceite de origen mineral, aceite de origen sintético. Los cuales tienen distintas propiedades y su uso depende de la aplicación a la que va a ser sometido el sistema hidráulico.

2.4.3 Sistema Neumático

Son sistemas en los cuales se utiliza aire u otro gas como medio para transmitir señales de control o potencia para generar movimiento. El sistema neumático tiene como fin generar energía y movimiento mecánico a través del flujo de aire comprimido por los distintos componentes del circuito (ver Figura 20), siendo utilizados en gran medida para la automatización de procesos repetitivos (ensamblaje, empaquetado, etc.) o también como fuente de energía para herramientas manuales (martillos, taladros, motores, etc.)

teniendo una alta velocidad de funcionamiento, pero con limitaciones en cuanto a la potencia que se puede transmitir. Se considera como un sistema de bajo costo porque su fuente de suministro es el aire disponible en nuestro medio, de igual forma los componentes neumáticos son de fácil diseño e implementación.



Figura 20. Esquema Sistema Neumático

Fuente: (Tecnología y técnica, 2012)

Un sistema neumático en primer instancia cuenta con un compresor de aire como unidad de generación del aire comprimido, seguido por un depósito o tanque de almacenamiento, a la salida de esta línea se cuenta con la unidad de mantenimiento del aire la cual está conformada por un filtro, regulador de presión y lubricador, finalmente se tiene una salida neumática individual, cada una de estas estaciones se comunican mediante una conexión de tuberías (ver Figura 21). (Creus Solé, 2011)

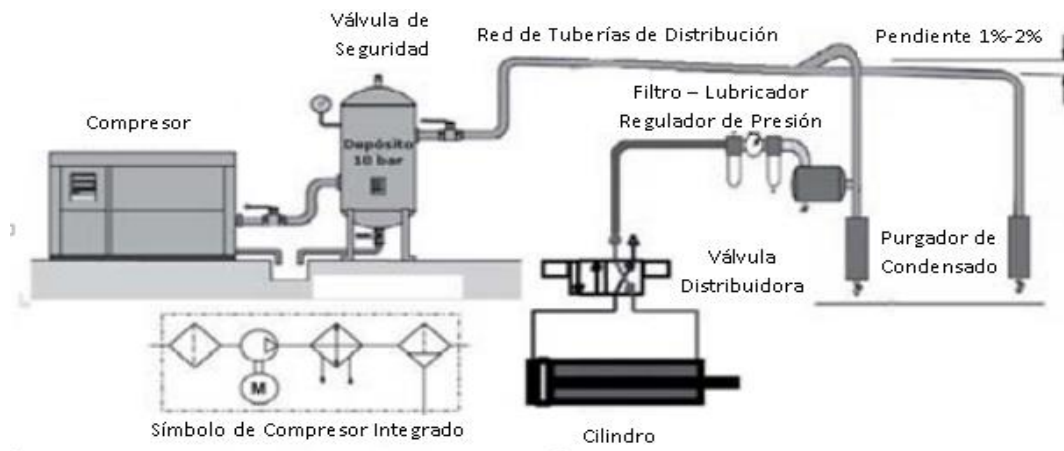


Figura 21. Preparación del Aire

Fuente: (Creus Solé, 2011)

2.4.4 Sistema de Transmisión de Movimiento

Un sistema transmisor o de transmisión de movimiento es aquel que recibe la energía de un elemento motriz (motor eléctrico, motor de combustión interna, etc.) y a través de diferentes elementos modifica la energía o el movimiento. Un ejemplo de esto es la transmisión de un auto la cual cuenta con embrague, caja de cambio, ejes.

Dentro de los sistemas de transmisión de movimiento podemos encontrar la transmisión lineal y la transmisión circular. La transmisión lineal transforma el movimiento de cualquier característica en un movimiento con trayectoria rectilínea (palanca, polea). Y la transmisión circular lo transforma movimiento de trayectoria circular (árboles, ejes, engranajes, tornillo sin fin) (ver Figura 22).

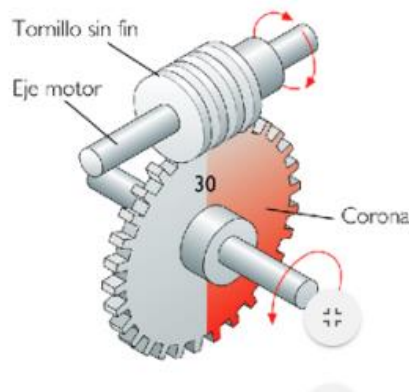


Figura 22. Tornillo Sin Fin
Fuente: (Hervás, 2017)

2.4.5 Motor Eléctrico

Un motor eléctrico es una máquina eléctrica que transforma energía eléctrica en energía mecánica. Tiene gran cantidad de ventajas dentro del área industrial por lo cual reemplazó en gran medida a otros tipos de motores. Está compuesto por dos elementos el estator (fijo) y el rotor (móvil) (ver Figura 23). El estator está compuesto por un imán el

cual genera el campo magnético fijo que interactúa con el campo magnético generado por la circulación de corriente eléctrica por las bobinas ubicadas en el rotor. De esta manera tenemos la interacción de dos campos magnéticos que se repelen y atraen generando un movimiento circular en el eje de salida.

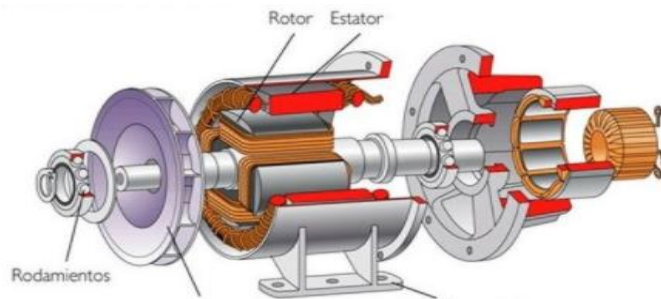


Figura 23. Motor Eléctrico AC
Fuente: (Área tecnología, 2017)

2.4.6 Driver Variador de Velocidad

Los motores eléctricos necesitan una cantidad de energía eléctrica mínima para cumplir su función proporcionando la velocidad y el par deseado. Por ello para distintos procesos se necesita que el motor coincida exactamente con las necesidades solicitadas consumiendo la energía necesaria sin desperdiciarla. Para eso se utilizan los variadores de velocidad que son reguladores industriales de energía que convierten la energía eléctrica de frecuencia fija en energía eléctrica de frecuencia variable.

Los motores eléctricos AC se pueden controlar al variar la frecuencia de la energía que se suministra, siendo esta una relación directa, a mayor frecuencia mayor velocidad y viceversa. Pero no solo esta es una función del variador, también sirve para proteger al motor de sobre calentamiento o sobrecargas y para garantizar el máximo par en el eje de salida a velocidades bajas (ver Figura 24).



Figura 24. Siemens V20
Fuente: (Siemens, 2017)

2.4.7 Control Industrial

El control industrial se refiere a diferentes métodos de organizar y gobernar el funcionamiento de una máquina o proceso. En un sistema de control se tiene una o varias entradas y una o varias salidas de tal manera que se utilizan diferentes elementos (relevadores, contactores, arrancadores, plc, etc.) (ver Figura 25) para: conectar o desconectar a elementos receptores de la corriente de alimentación, procesar datos obtenidos por elementos de adquisición de datos, protección activa de los elementos de potencia a sobrecargas, sobrecalentamiento etc. Y sistemas HMI los cuales se encargan de proporcionar las señales de mando para el funcionamiento correcto del conjunto.



Figura 25. Contactor SIRUS 3RT20
Fuente: (Siemens, 2017)

2.4.8 Sistema de Control

El sistema de control (ver Figura 26) se refiere a la regulación de un proceso, esto puede llevarse a cabo de manera manual o automática. Para realizar una regulación

automática se necesita de un dispositivo de control el cual cumpla con los requerimientos del sistema de tal manera que reciba una o varias señales de entrada y las transforme en señales de control, las cuales ingresan a la planta obteniendo una respuesta óptima por parte de los actuadores, bajo las condiciones solicitadas. Dentro de un sistema de control tenemos los siguientes componentes.

Planta: Es el proceso que se va a regular o controlar, manipulando magnitudes se variará su comportamiento.

Controlador: Es un sistema electrónico, o mecánico el cual recibe la señal de set point y actúa sobre la planta entregando la o las señales de control necesaria.

Operador: Es el elemento humano encargado de supervisar y fijar los valores deseados al sistema (set point).

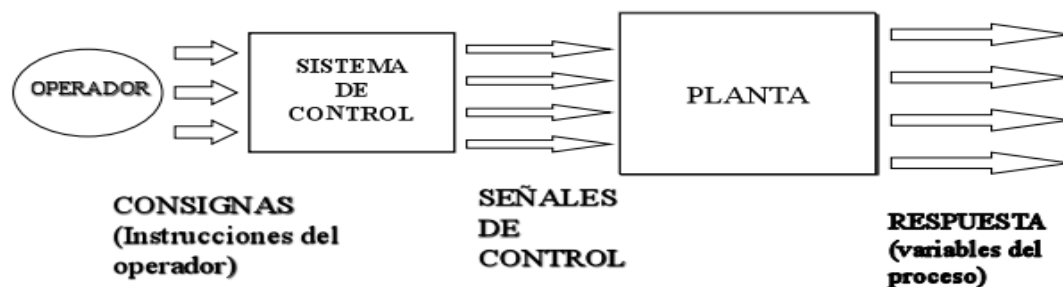


Figura 26. Sistema de Control

Fuente: (Gil, 2017)

CAPÍTULO III

ANÁLISIS DEL ESTADO ACTUAL DE LA MÁQUINA

La máquina Pay- off modelo PF-1000M (ver Figura 27), es una máquina diseñada para desenrollar, entregar o proveer el cable en el proceso de fabricación o rebobinado de cables, involucrando sistemas eléctricos y de control, mecánicos, neumáticos e hidráulicos para cumplir con su función. El funcionamiento de la máquina pay-off es el siguiente:

1. Mediante un tablero de control principal, se energiza todo el sistema.
2. Se procede a colocar y sujetar el carrete con alambre, para lo cual se posiciona el brazo de sujeción izquierdo y derecho mediante la interacción de pulsadores o switch del mando de control, dentro del posicionamiento de dicho brazo de sujeción del carrete se ve involucrado un eje principal; el cual funciona como soporte y guía del brazo, un tornillo de potencia que convierte el movimiento rotacional en lineal, motor eléctrico y un sistema de piñón cadena para transmitir el movimiento al tornillo de potencia antes descrito.
3. Una vez sujetado el carrete por los brazos en voladizo, mediante el mando de control se envía un impulso eléctrico a una válvula solenoide para proceder a levantar los brazos mediante un sistema de elevadores hidráulicos, el sistema de elevadores hidráulicos cuenta con un depósito del fluido, bomba hidráulica, cilindros hidráulicos, mangueras y un elemento de mando.
4. Encontrándose el carrete superior a la superficie del suelo, se atraviesa el extremo del alambre a lo largo de un mecanismo de brazo con polea, este

mecanismo se encuentra acoplado a un sistema neumático, proporcionando una tensión sobre el cable.

5. se procede a encender el motor principal para dar paso al proceso de desenrollado del alambre.



Figura 27. Máquina Pay-Off, modelo PF-1000M

El presente capítulo se enfoca en describir los elementos y componentes presentes dentro de la máquina, haciendo posible realizar un levantamiento de necesidades de los elementos y componentes faltantes, los cuales le permitan desempeñar su funcionamiento según lo expuesto y a su vez que favoreciendo el cambio de la

funcionalidad para la cual fue diseñada, es decir; la máquina pay off modelo PF1000M debe ser puesta en marcha, siendo capaz de recibir alambre de acero y bobinarlo en el carrete.

A continuación se presenta un cuadro comparativo de la descripción del antes y después de la máquina pay off modelo PF-1000M:

Tabla 3

Descripción del antes y después de máquina pf-1000m

Antes	Después
Máquina con Elementos faltantes	Máquina con todos sus Elementos
Desenrollar alambre	Bobina el cable
No dispone de un sistema repartidor	Cuenta con sistema repartidor de cable
Se ubica al inicio de la línea de producción	Se ubica al final de la línea de producción

3.1 Análisis de Elementos Presentes

Como se menciona en el capítulo 1, la máquina Pay-Off modelo PF-1000M, fue desmantelada de ciertas partes y elementos durante el proceso de importación, considerando a su vez; que una máquina puede estar compuestas por una serie de subsistemas entre ellos mecánicos, hidráulicos, neumáticos, eléctricos, electrónicos, etc. Describiendo a continuación los diferentes sistemas con los que cuenta la máquina PF-1000M:

3.1.1. Subsistema Hidráulico

La máquina en cuestión posee un mecanismo de elevación para el carrete secundario impulsado por un sistema hidráulico, está ubicado en los laterales del brazo sujetador y

sirve para posicionarlo en forma horizontal paralelo al suelo, de esta manera se evita que el carrete se exponga a fricción al momento del bobinado. Este sistema está compuesto por los siguientes elementos:

- 2 cilindros Hidráulicos de Doble Efecto (ver Figura 28):

Tabla 4*Descripción cilindros hidráulicos*

Descripción	
Modelo	RR-1010
Diámetro de Cilindro	73 [mm]
Diámetro de Vástago	42,99 [mm]
Carrera Máxima	254 [mm]
Estado	OK
Observación	Funcional
Función	Elevación



Figura 28. Cilindros Hidráulicos - Sistema de Elevación

- 1 válvula solenoide (ver Figura 29), es un tipo de válvula accionada por un impulso eléctrico efectuado sobre un electroimán que en conjunto con un resorte le permite regresar a su estado neutral cuando esta se desactiva.

Tabla 5*Descripción válvula*

Descripción	
Modelo	JS-G02-20B-H
Capacidad	70 l/min
Presión Máxima	30 MPa
Diámetro Nominal	¼
Estado	OK
Observación	Funcional
Función	Paso de Líquido
Conexión	220VAC

**Figura 29.** Válvula Solenoide 220VAC

- 1 depósito (ver Figura 30): encargado de almacenar el fluido que levanta el brazo sujetador del carrete.

Tabla 6*Descripción de depósito o tanque*

Descripción	
Modelo	N/A
Capacidad	0,04 m ³
Largo	400 mm
Ancho	400 mm
Alto	300 mm
Estado	OK
Observación	Funcional
Función	Almacenamiento

**Figura 30.** Depósito de fluido

- Mangueras hidráulicas

Tabla 7*Descripción mangueras hidráulicas*

Descripción	
Modelo	100R1AT-16
Diámetro interno	12.7 mm (0.5 inch)
Presión máxima	16 MPa
Estado	OK

CONTINÚA

Observación	Funcional
Función	Almacenamiento

- 1 válvula de alivio (ver Figura 31): encargado de controlar la presión de funcionamiento del sistema hidráulico.

Tabla 8*Descripción válvula de alivio*

Descripción	
Modelo	JS-G02-20B-H
Capacidad	70 l/min
Presión Máxima	30 MPa
Diámetro Nominal	¼
Estado	OK
Observación	Funcional
Función	Paso de Líquido
Conexión	N/A

**Figura 31.** Válvula de Alivio

- 1 válvula antirretorno (ver Figura 32): encargado de controlar la entrada del aceite hidráulico a la bomba, manteniéndola llena después del cebado.

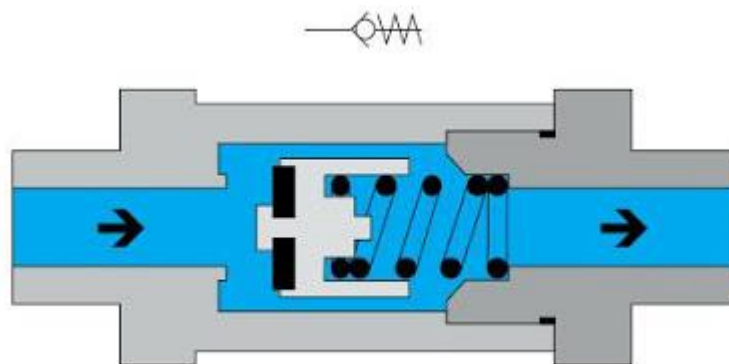


Figura 32. Válvula Antirretorno
Fuente: (Automatización Industrial, 2018)

3.1.2. Subsistema Neumático

Incorporado a la máquina PF-1000M se encuentra un sistema neumático, el cual mediante un cilindro de simple efecto tensiona el cable que proviene de la bobina madre utilizando como base un mecanismo de brazo con polea que gira en torno a una rueda excéntrica (ver Figura 33), este subsistema se encuentra conformado por:



Figura 33. Mecanismo Regulador de Tensión

- 1 cilindro neumático (ver Figura 34), mediante el accionamiento del vástago hacia afuera permite tensionar el brazo metálico.

Tabla 9*Descripción cilindro neumático*

Descripción	
Modelo	XCPC SI 40x150 S-LB
Diámetro Interior Del Cilindro	40 mm
Longitud De Carrera	150 mm
Capacidad	0.05 – 1 MPa
Tipo Fijación	Fijación delantera y trasera
Estado	OK
Observación	Funcional
Función	Almacenamiento

Fuente: (Ningbo Xinchao Automatization Component, 2011)



Figura 34. Cilindro Neumático 40X 150 S-LB

- Unidad de Tratamiento de Aire cuenta con las siguientes especificaciones:

Tabla 10*Descripción de unidad de mantenimiento*

Descripción	
Modelo	MINDMAN MACP300
Tamaño del Puerto	6.4 mm (0.25 inch)
Capacidad de Operación	0.05 ~ 1MPa
Estado	OK
Observación	Funcional
Función	Almacenamiento

**Figura 35.** Unidad de Mantenimiento

3.1.3. Subsistema Mecánico

La máquina PF-1000M cuenta con un par de brazos metálicos dispuestos a los extremos de la estructura metálica; encargados de la sujeción del carrito secundario que

recolectará el cable a lo largo de dicha bobina, por lo tanto, para realizar esta acción se cuenta con los siguientes dispositivos:

- 2 tornillos de potencia trapezoidal, encargados de transmitir potencia a cada brazo metálico para la sujeción del carrete mediante el desplazamiento lineal, partiendo originalmente de un movimiento angular generado por un motor eléctrico.

Tabla 11

Descripción tornillo de potencia trapezoidal

Descripción	
Tipo de Rosca	Métrica ISO DIN 103
Diámetro de Tornillo	35 [mm]
Paso de Rosca	6 [mm]
Longitud	1 [m]
Estado	Requiere Mantenimiento
Observación	Doblado
Función	Desplazamiento



Figura 36. Tornillo de Potencia



Figura 37. Tuerca

- 2 mecanismos de piñón y cadena (ver Figura 38), mecanismo utilizado para transmitir el movimiento entre los dos ejes paralelos comprendidos por el tornillo de potencia y el motor eléctrico.

Tabla 12*Descripción piñón y cadena*

Descripción	
Relación de transmisión	$i = 1,18$
Paso de Cadena	ANSI 40
Estado	Requiere Mantenimiento
Observación	Funcional
Función	Transmisión de Movimiento

**Figura 38.** Piñón y Cadena

- 1 caja Reductora (ver Figura 39), disminuye la velocidad y aumenta el torque de entrada proporcionada por el motor trifásico de 440VAC por valores requeridos dentro del proceso de bobinado de cables.

Tabla 13*Descripción caja reductora*

Descripción	
Modelo	NMRV 100323
Relación de Transmisión	7.5
Estado	Requiere Mantenimiento
Observación	Fuga de Lubricante/Funcional
Función	Transmisión de Movimiento

**Figura 39.** Reductora de Tornillo Sin Fin

3.1.4. Subsistema Eléctrico

Este sistema se encuentra comprendido por dispositivos que requieren un nivel significativo de voltaje y corriente, por lo que asociado dentro de la máquina PF-1000M se puede encontrar:

- 2 motores 220/440 VAC (ver Figura 40), encargados convertir la energía eléctrica en energía mecánica con el fin de generar el movimiento requerido dentro del sistema de transmisión piñón y cadena.

Tabla 14*Descripción motor 220/440 vac*

Descripción	
Modelo	CPG CH-2
Estado	OK
Observación	Funcional
Función	Generador de Movimiento

**Figura 40.** Motor 220/440VAC (Izquierda), Placa Técnica (Derecha)

- 1 motor trifásico 440 VAC (ver Figura 41), de igual forma provee de energía mecánica para la ejecución del movimiento angular requerido para realizar la acción de bobinado en el carrete secundario partiendo de la conversión de un suministro de energía eléctrica.

Tabla 15*Descripción motor 440vac*

Descripción	
Modelo	TECO A EVE-FAG
Estado	OK

CONTINÚA

Observación	Funcional
Función	Generador de Movimiento



Figura 41. Motor 440VAC (Izquierda), Placa Técnica (Derecha)

- 1 freno electromagnético (ver Figura 42), el cual realiza el paro instantáneo del movimiento rotativo que se ejecuta durante el funcionamiento de la máquina PF-1000M para realizar el enrollado de alambre para uso eléctrico.

Tabla 16

Descripción freno electromagnético

Descripción	
Modelo	YS-B-20KG
Estado	OK
Observación	Funcional
Función	Paro instantáneo de Mordazas



Figura 42. Freno Electromagnético

3.1.5. Subsistema de Control

La máquina PF-1000M cuenta con un gabinete metálico, en el cual se encuentran alojados una serie de componentes electrónicos que permiten controlar una secuencia de actividades u operaciones que debe ser ejecutadas dentro del proceso de bobinado de alambre para uso eléctrico, encontrando los siguientes:

Tabla 17

Descripción elementos de control

Descripción		Figura
Tipo de Elemento	Contactador Magnético	 <p>Figura 43. Contactador Magnético Shihlin s-p21</p>
Modelo	Shihlin s-p21	
Estado	OK	
Observación	Funcional	
Cantidad	1	
Tipo de Elemento	Contactador	 <p>Figura 44. Contactador Shihlin s-p11</p>
Modelo	Shihlin s-p11	
Estado	OK	
Observación	Funcional	
Cantidad	5	
Tipo de Elemento	Relé Térmico	 <p>Figura 45. Relé Térmico Shihlin TH-p12</p>
Modelo	Shihlin TH-p12	
Estado	OK	
Observación	Funcional	
Cantidad	2	
Tipo de Elemento	Rele de Sobrecarga 1.6 -2.5 Amp	
Modelo	Telemecanique LRD 07	

CONTINUÍA

Estado	OK	
Observación	Funcional	
Cantidad	1	
Tipo de Elemento	Relé	
Modelo	OMRON MY4NJ 220/240 VAC	
Estado	OK	
Observación	Funcional	
Cantidad	4	Figura 47. Relé OMRON
Tipo de Elemento	relé	
Modelo	STON MY2SN	
Estado	OK	
Observación	Funcional	
Cantidad	7	
Tipo de Elemento	Timer relé	
Modelo	ANLY AH3-NA	
Estado	Mal	
Observación	No Funcional	
Cantidad	1	
Tipo de Elemento	Fusibles	
Modelo	Fusibles 10 A	
Estado	OK	
Observación	Funcional	
Cantidad	3	
Tipo de Elemento	Relé Auxiliar DRM	

CONTINÚA


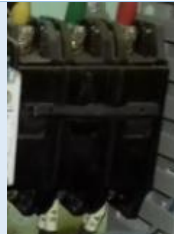
Modelo	Weidmüller DRM270730LT	
Estado	OK	
Observación	Funcional	
Cantidad	1	
Tipo de Elemento	Resistencia de frenado	
Modelo	510W100RJ	
Estado	OK	
Observación	Funcional	
Cantidad	1	
Tipo de Elemento	Breaker de 3 fases	
Modelo	Breaker 30 A	
Estado	OK	
Observación	Funcional	
Cantidad	1	
Tipo de Elemento	Palanca de Mandos	
Modelo	Palanca de Mandos	
Estado	OK	
Observación	Funcional	
Cantidad	2	

Figura 51. Relé Auxiliar DRM**Figura 52.** Resistencia de frenado**Figura 53.** Breaker de 3 fases**Figura 54.** Palanca de Mandos

3.2. Levantamiento de Necesidades

Como se menciona en capítulos anteriores la máquina PF-1000M se encuentra en un estado en el que no puede desempeñar la función para la que fue diseñada, debido a

la carencia de elementos necesarios para el correcto funcionamiento de esta, siendo los siguientes:

3.2.1. Subsistema Hidráulico

Bomba Hidráulica: es uno de los elementos necesarios dentro del circuito, que permite aprovechar la energía proporcionada por el caudal del fluido a partir de la energía mecánica como el torque o velocidad con la que cuenta la bomba. A continuación, se detalla los requerimientos necesarios para la selección de la bomba hidráulica:

Tabla 18

Requerimiento de bomba hidráulica

Parámetros	
Voltaje de Alimentación	220V – 3 fases
Presión Necesaria	Hasta 700 bar
Capacidad del depósito	50 – 60 litros
Tipo de Fluido	No conocido

3.2.2. Subsistema Mecánico

Implementación de un sistema repartidor de cable; dentro de un proceso de fabricación de cable eléctrico, se involucra una etapa de enrollado del cable. Por lo tanto, dentro de la máquina PF-1000M, es necesario implementar un sistema que permita distribuir de manera uniforme y continua el cable que se obtiene del proceso de trefilado, garantizando que dicho alambre no presente deformaciones en su estructura a lo largo del proceso y en consecuencia asegurando las dimensiones necesarias para la siguiente etapa dentro del proceso de producción. El procedimiento en cuestión se encuentra

sujeto al dimensionamiento presentado por la estructura física de la máquina, por lo tanto, el sistema requiere los siguientes parámetros:

Tabla 19

Requerimiento de sistema repartidor de cable

Parámetros	
Largo	1200 [mm]
Ancho	200 [mm]
Alto	200 [mm]
Sentido de Giro	Cambio de Giro Automático
Rango de Trabajo	Regulable
Velocidad	Regulable
Sistema de Transmisión	Permite desalineación de ± 3 mm

3.2.3. Subsistema Eléctrico

Variador de Frecuencia: este elemento permite regular la energía proporcionada por la red ajustando la frecuencia y voltaje dependiendo de los requerimientos del motor AC, permitiéndole funcionar a la velocidad y torque necesario; dentro del sistema se requiere de un variador que se adapte con el motor TECO incorporado en la máquina en cuestión:

Tabla 20

Requerimiento del variador de frecuencia

Parámetros	
Aplicabilidad	Motor de 7.5 HP
Voltaje de Alimentación	220 ~ 480V / 3 fases
Frecuencia	60 Hz
Salida	Hasta 440 V / 3 fases
Dimensiones Aproximadas	200 x 100 x 250 [mm]

- Transformador: como su nombre lo indica es un dispositivo que permite cambiar el voltaje proporcionado de la red eléctrica principal a otro nivel de tensión. Debido a los componentes eléctricos y de control existentes y funcionales dentro de la máquina y del valor del voltaje de la red eléctrica con la que cuenta la empresa, se requiere un transformador que cumpla con las siguientes condiciones:

Tabla 21*Requerimientos del transformador eléctrico*

Parámetros	
Voltaje de Entrada	440 V
Voltaje de Salida	220 V / 24 V
Dimensiones Aproximadas	100 x 100 x 100 [mm]

3.2.4. Subsistema de Control

- Controlador: Dicho elemento nos permitirá tener una señal de salida controlada utilizando retroalimentación (lazo cerrado), de tal manera que se regule la velocidad del motor con los cambios de tensión en el cable.

Tabla 22*Requerimiento del controlador*

Parámetros	
Entrada del sensor	0 – 70 mV
Voltaje de salida	0 – 10 V
Alimentación	220 VAC

CAPÍTULO IV

DESARROLLO DEL REDISEÑO

El capítulo tiene como objetivo presentar el procedimiento para la selección e implementación de elementos y componentes que permitan la puesta en marcha de la máquina PF-1000M, teniendo en cuenta el cambio de su función; pasando de ser diseñada como una máquina para desenvolver alambre al inicio de la línea del proceso de fabricación de cables a ser una máquina que permita el bobinado de alambre al final del proceso de elaboración del mismo.

4.1 Rediseño del Subsistema Mecánico

4.1.1 Selección Equipos Sistema Hidráulico

Un sistema hidráulico es un conjunto de componentes mecánicos o electromecánicos los cuales se encargan de transmitir y controlar un líquido (aceite) a presión para alimentar y activar diferentes actuadores (ver Figura 55) los cuales sirven para realizar diferentes acciones como movimientos lineales, circulares, etc.

Existen 5 componentes básicos en un sistema hidráulico:

- Bomba hidráulica
- Tanque de almacenamiento
- Cañerías
- Válvulas de control
- Actuadores

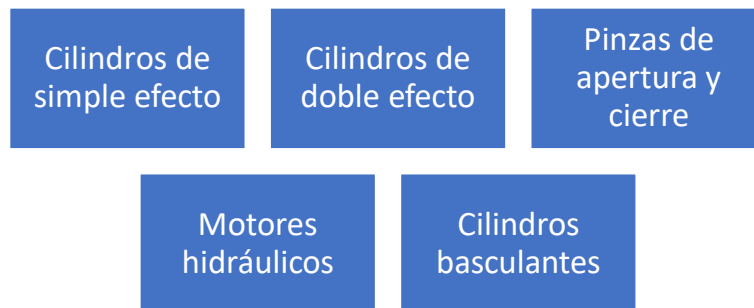


Figura 55. Tipos de actuadores hidráulicos

Fuente: (Unidad profesional Azcapotzalco, 2017)

Los circuitos hidráulicos pueden poseer una menor o mayor complejidad dependiendo de las diferentes aplicaciones que estos vayan a satisfacer y de ello depende los componentes que se vayan a utilizar. En el caso particular de la máquina PF-1000M el sistema hidráulico se encarga de elevar: motor principal y reductora, los brazos de sujeción de carretes y el carrete acoplado a este (ver Figura 56). A través de dos cilindros neumáticos (donde 1 en la Figura 56 es el cilindro hidráulico) y su circuito hidráulico asociado.

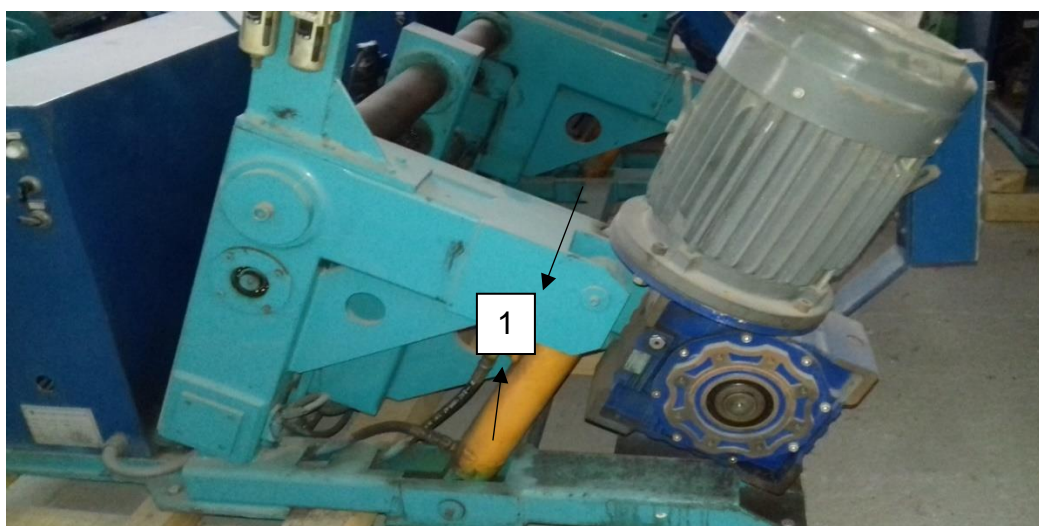


Figura 56. Sistema de levantamiento máquina PF-1000M

Como se describió en el capítulo 3 existen diferentes elementos del sistema hidráulico presentes en la máquina.

4.1.1.1 *Mantenimiento Líquido Hidráulico*

Para realizar el mantenimiento del líquido hidráulico fue necesario realizar un análisis en laboratorio ya que no se contaba con detalles del tipo de aceite presente en el reservorio de la máquina, de esta manera se pudo caracterizar el aceite y proceder a adquirirlo. (Ver Figura 57)

Para la caracterización del aceite se utilizó el laboratorio de fluidos ubicado en la Universidad de la Fuerzas Armadas – ESPE a cargo del ing. Oswaldo Mariño. El proceso utilizado fue el de determinación de la viscosidad de un fluido a través de la Ley de Stock. “La Ley de Stock se refiere a la fuerza de fricción experimentada por objetos esféricos moviéndose en el seno de un fluido viscoso en un régimen laminar de bajos números de Reynolds.” (Ecured, 2017)



Figura 57. Caracterización del aceite hidráulico de la máquina PF-1000M

El procedimiento a seguir es el siguiente:

Paso 1:

Conocer las medidas de la esfera a utilizar. Se realizan cinco mediciones del diámetro de tal manera que se tiene una medida precisa. También se debe tomar la temperatura del aceite para futura referencia.

Paso 2:

Se coloca el aceite en la probeta, la cual tiene marcas en el exterior de tal manera que se puede medir la distancia que la esfera recorre dentro del recipiente (ver Figura 58).



Figura 58. Probeta con aceite

Paso 3:

Se deja caer la esfera en el aceite y se mide el tiempo que demora en atravesar una distancia conocida (ver Figura 59). Se deben hacer varias medidas siempre limpiando la esfera antes de hacer la siguiente. De tal manera que tenemos la velocidad de la esfera al moverse por el aceite.



Figura 59. Medición de la velocidad de la esfera en el líquido

Paso 4:

Se debe medir la densidad del aceite, para ello colocamos en una probeta previamente pesada, un volumen fijo de aceite para luego pesar el conjunta de tal manera que al restar el peso de recipiente obtenemos el peso del aceite (ver Figura 60). Con ellos aplicamos la fórmula de la densidad ($\rho = \frac{m}{v}$) y obtenemos la densidad el aceite.



Figura 60. Aceite en probeta

Paso 5:

Con los datos obtenidos aplicamos la ecuación de la Ley de Stock (ver Ecuación 1).

Ecuación 1 Ley de Stock

$$n = \frac{2 \cdot g \cdot (\rho_s - \rho_f) \cdot r^2}{9 \cdot v}$$

Caracterización del aceite de la máquina PF-1000M

Se realizaron 5 medidas del diámetro de la esfera con un micrómetro obteniendo los siguientes resultados (ver Tabla 23).

Tabla 23

Medición del diámetro de la esfera

Diámetro de la esfera		
Nº Medición	Diámetro [mm]	radio [m]
1	1,59	0,000795
2	1,59	0,000795
3	1,59	0,000795
4	1,59	0,000795
5	1,59	0,000795
	r^2=	6,32025E-07

A continuación, colocamos el aceite en la probeta marcada, tomamos una distancia para medir el tiempo de caída que comienza a un cuarto de la entrada de tal manera que la velocidad se establezca antes de realizar la medición del tiempo y dejamos caer la esfera. En dicho proceso se obtuvieron los siguientes resultados (ver Tabla 24).

Tabla 24*Medición de velocidad de caída*

Distancia [mm]	Tiempo [s]
150	2,88
150	2,81
150	2,74
150	2,81
150	2,76
Tiempo Promedio [s]	2,80
Distancia [m]	0,15
Velocidad Promedio [m/s]	0,054

Una vez concluido este procedimiento, procedemos a medir la densidad del fluido y de la esfera. Se mide un volumen para el aceite y se pesa. Para la esfera se utiliza un valor aceptado (7850 Kg/m^3) (Young & Freedman, 2009). Obteniendo los siguientes resultados (ver Tabla 25).

Tabla 25*Densidad del aceite y esfera*

Densidad del Fluido			
N° Medición	Masa de Vacía[g]	Masa de Probeta a 40 ml [g]	Masa del Aceite [g]
1	101,09	135,41	34,32
2	101,10	135,41	34,31
3	101,10	135,40	34,30
4	101,09	135,40	34,31
5	101,10	135,40	34,30

CONTINÚA

Masa Promedio del Aceite [Kg]	0,034
Volumen del Aceite [m ³]	4,00E-05
Densidad del Aceite [Kg/m ³]	857,70
Densidad del Acero [Kg/m ³]	7850

Con todos los datos procedemos a calcular la viscosidad a través de la fórmula de la Ley de Stock (ver Ecuación 1).

$$n = \frac{2 \cdot g \cdot (\rho_s - \rho_f) \cdot r^2}{9 \cdot v}$$

$g = \text{Gravedad}$

$\rho_s = \text{Densidad del acero}$

$\rho_f = \text{Densidad del aceite}$

$r = \text{Radio de la esfera}$

$v = \text{velocidad de caída}$

Ecuación 2 Viscosidad dinámica

$$n = \frac{2 \cdot 9,81 \cdot (7850 - 857,7) \cdot 6,32025E - 07}{9 \cdot 0,054}$$

$$n = 0,06422 \text{ P} = 6,422 \text{ cP}$$

Ecuación 3 Viscosidad cinemática

$$n' = \frac{n}{\rho_f}$$

$$n' = \frac{0,06422}{857,7}$$

$$n' = 0,7488 \text{ St} = \mathbf{74,88 \text{ cSt}}$$

Una vez obtenida la viscosidad cinemática del aceite procedemos a comparar dicho resultado con la temperatura del aceite al momento de realizar la prueba que fue de 22 °C aproximadamente (ver Figura 61). Obteniendo como resultado que el aceite encontrado dentro del reservorio del sistema hidráulico es de **Grado ISO 32** el cual cuenta con las siguientes características. (Beta Professional Hand tools, 2017)

- Aceite diseñado para líneas hidráulicas
- Protección contra el desgaste
- Resistencia al agua
- Bajo residuo de carbono
- Inflamabilidad 210 °C

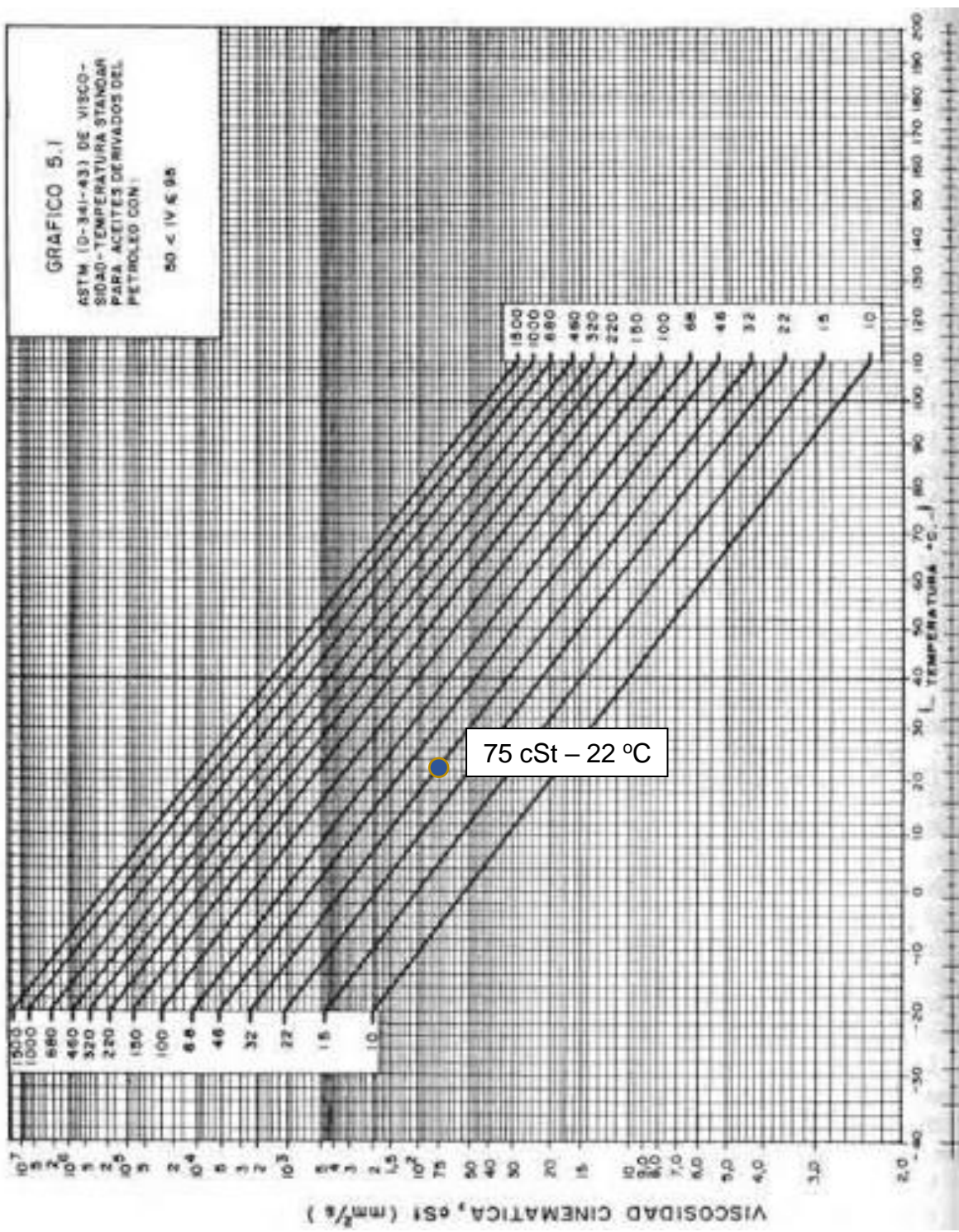


Figura 61. ASTM (0-341-43) Viscosidad cinemática – Temperatura
 Fuente: (Aguillon, 2003)

4.1.1.2 Selección de Bomba Hidráulica

De igual manera el sistema hidráulico posee la capacidad de elevar un peso de hasta 1500 Kg, esto se pudo observar gracias a la información brindada por la empresa YessJett a través de su página web (ver Figura 62). Este dato es básico para la selección de la bomba hidráulica faltante ya que podemos realizar los cálculos necesarios de tal manera que obtenemos como resultado la capacidad básica de la bomba necesaria.

PAY-OFF (Electric Screw series)

Model	Drum dia.(mm)	Drum width(mm)	Load (kg)
PF-1000M	630~1000	300~750	1500
PF-1250M	800~1250	450~950	2500
PF-1600M	1000~1600	600~1200	4000
PF-2000M	1000~2000	750~1500	7000

Machine specs subject to change without notice in advance

Figura 62. Características máquina PF-1000M

Fuente: (Yessjet, 2017)

Paso 1:

Se debe calcular la velocidad media de salida del vástago, en este caso los dos cilindros son iguales por lo cual se puede utilizar de referencia cualquiera de los dos. Después de calcular la velocidad se debe calcular el caudal que fluye por el circuito.

Longitud (L):

Tiempo estimado (t):

Área del cilindro sin vástago (A_1):

Ecuación 4 Velocidad media de desplazamiento del vástago

$$V = \frac{L}{t}$$

$$V = \frac{0,25}{4} = 0,0625 \text{ m/s}$$

Ecuación 5 Caudal del Circuito Hidráulico

$$Q_1 = V \cdot A_1$$

$$Q_1 = 0,0625 * 0,00145 = 0,000090625 \text{ m}^3/\text{s} = 5.438 \text{ l/min}$$

Paso 2:

Despreciando las pérdidas se debe calcular la presión que soporta el sistema a máxima carga (1500 KG).

Fuerza (F): 1500 Kg / 14715 N

Ecuación 6 Presión de trabajo

$$p_1 = \frac{F}{A_1}$$

$$p_1 = \frac{14715}{0,00145} = 10148275,8 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 101,48 \text{ bar}$$

Paso3:

Con los datos obtenidos se realiza una selección inicial de la bomba, se utiliza el catálogo de la marca BOSCH.

Tamaño constructivo			TC2						
Tamaño nominal	TN		6,3	8	11	13	16	19	22
Masa ⁴⁾	<i>m</i>	kg	2,1	2,2	2,4	2,6	2,7	2,9	3,1
Rango de revoluciones ¹⁾	n_{\min}	min^{-1}	600						600
	n_{\max}	min^{-1}	3600						3000
Cilindrada	<i>V</i>	cm^3	6,5	8,2	11	13,3	16	18,9	22
Caudal ²⁾	q_v	L/min	9,4	11,9	16	19,3	23,2	27,4	31,9
Presión de servicio, absoluta									
- Entrada	p	bar	0,6 hasta 3						
- Salida, continua	p_{\max}	bar	210	210	210	210	210	210	180
- Salida, intermitente ³⁾	p_{\max}	bar	250	250	250	250	250	250	210
Potencia de accionamiento min. requerida para $\Delta p = 0$ bar		kW	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	1,1	1,1

Figura 63. Catálogo bomba PGH Serie 2

Fuente: (Bosch Rexroth, 2017)

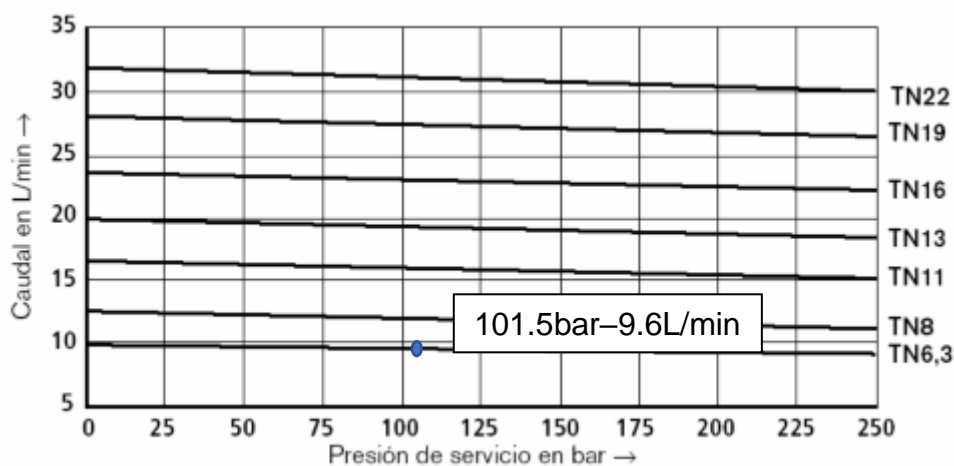


Figura 64. Gráfica presión - Caudal PGH Serie 2

Fuente: (Bosch Rexroth, 2017)

Con los datos obtenidos seleccionamos la bomba PGH Serie 2 de tamaño nominal 6,3 la cual cumple con las especificaciones necesarias con un caudal de 9,4 l/min. Podemos observar en la Figura 64 que a una presión de 101.5 bar se obtiene un caudal aproximadamente 9.6 L/min, lo cual cumple con el caudal dentro del rango necesario para la aplicación.

Paso 4:

Recalcular la presión de trabajo de la bomba, el cambio se produce por las pérdidas de carga en la salida del vástago.

Ecuación 7 Recalculo de la presión de trabajo

$$v = \frac{Q_1}{A_1} = \frac{Q_2}{A_2}$$

$$Q_2 = Q_1 \cdot \frac{A_2}{A_1}$$

$$Q_2 = 0,000090625 * \frac{0,00048}{0,00145} = 0,00003 \text{ m}^3/\text{s} = 1,8 \text{ l/min}$$

Conociendo el caudal Q_2 se puede calcular la velocidad del fluido en las tuberías.

$$\text{Área interna de la tubería } (A_{tub}): A_{tub} = \pi * \left(\frac{0,025}{2}\right)^2 = 0,000491 \text{ m}^2$$

Ecuación 8 Velocidad del fluido en la tubería

$$v' = \frac{Q_2}{A_{tub}}$$

$$v' = \frac{0,00003}{0,000491} = 0,0611 \text{ m/s}$$

A continuación, se calcula el número de Reynolds y el rozamiento en la tubería.

Diámetro interno de la tubería (D): 0,025 m

Ecuación 9 Número de Reynolds

$$Re = \frac{v' \cdot D}{\nu}$$

$$Re = \frac{0,0611 * 0,025}{0,0625} = 0,2444$$

Ecuación 10 Rozamiento en la tubería

$$f = \frac{64}{Re}$$

$$f = \frac{64}{0,0244} = 2618.66$$

Con todos los datos obtenidos se puede calcular la pérdida de carga en la tubería.

Ecuación 11 Pérdida de carga en la tubería

Densidad del fluido (ρ): 875 Kg/m³

$$\Delta P = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \rho \cdot \frac{v'^2}{2}$$

$$\Delta P = 2618.66 * \frac{0,25}{0,025} * 875 * \frac{0,0611^2}{2} = 42770 \text{ N/m}^2 = 0.4277 \text{ bar}$$

Paso 5:

Se realiza un cálculo con las fuerzas en el cilindro obteniendo la presión del cilindro.

Ecuación 12 Equilibrio de fuerzas en el cilindro

$$p_1 \cdot A_1 = F + \Delta p \cdot A_2$$

$$p_1 = \frac{F}{A_1} + \Delta p \cdot \frac{A_2}{A_1}$$

$$p_1 = \frac{14715}{0,00145} + 42770 * \frac{0.00048}{0,00145} = 10162434,2 \frac{N}{m^2}$$

Paso 6:

Se realiza el procedimiento para calcular las pérdidas de carga (Paso 4), pero ahora se realiza del lado del émbolo en el cilindro.

Ecuación 13 Velocidad del fluido en la tubería

$$v'' = \frac{Q_1}{A_{tub}}$$

$$v'' = \frac{0,000090625}{0,00491} = 0,1845 \text{ m/s}$$

Ecuación 14 Número de Reynolds

$$Re' = \frac{v'' \cdot D}{\nu}$$

$$Re' = \frac{0,1845 \cdot 0,025}{0,0625} = 0,0738$$

Ecuación 15 Rozamiento en la tubería

$$f' = \frac{64}{Re'}$$

$$f' = \frac{64}{0,0738} = 867,209$$

Ecuación 16 Pérdida de carga de la tubería en el émbolo

$$\Delta P' = f' \cdot \frac{L}{D} \cdot \rho \cdot \frac{v''^2}{2}$$

$$\Delta P' = 867,9 \cdot \frac{0,25}{0,025} \cdot 875 \cdot \frac{0,1845^2}{2} = 129150 \frac{N}{m^2} = 1.29150 \text{ bar}$$

Se debe sumar la presión obtenida por equilibrio de fuerzas en el cilindro (Ecuación 12) a la pérdida por carga de la tubería en el émbolo (Ecuación 16) para obtener la presión real de trabajo de la bomba.

$$P = p_1 + \Delta P'$$

$$P = 101,624 + 1,29150 = 102,916 \text{ bar}$$

Paso 7:

Comparamos la nueva presión en la gráfica Caudal – Presión (ver Figura 65) de tal manera que se puede observar que la diferencia de caudal es mínima, con lo cual podemos concluir que la bomba seleccionada es la correcta y cumple con la solicitud.

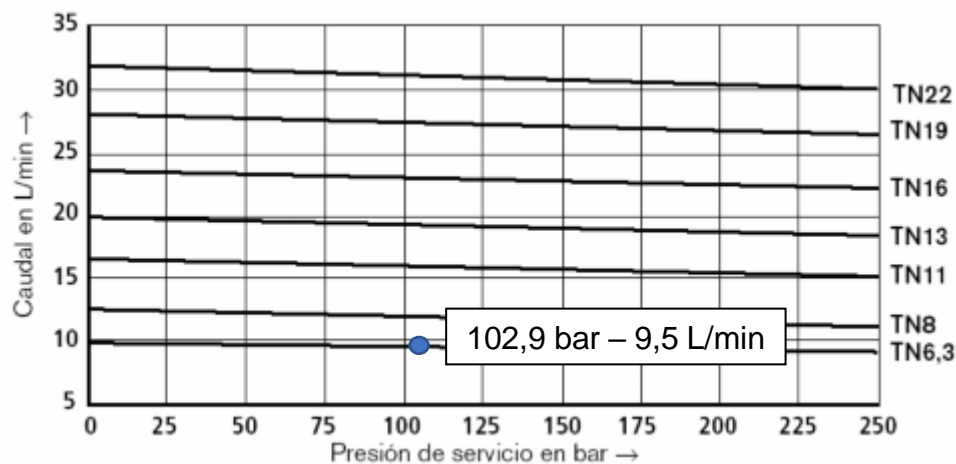


Figura 65. Gráfica presión - Caudal PGH Serie 2
Fuente: (Bosch Rexroth, 2017)

Tabla 26

Característica de bomba hidráulica

Característica	Valor
Modelo	TN 6.3
Presión	101,8 Bar
Caudal	9,4 L/min
Potencia	0,75 KW

La bomba hidráulica elegida es una bomba de 0,75 KW de potencia con un caudal de 9,4 L/min, este valor excede el caudal necesario, pero al no existir una bomba de menor prestación adquirimos la bomba con las características más cercanas a las solicitadas.

4.1.2 *Mantenimiento Subsistema de Movimiento Horizontal*

El subsistema de movimiento horizontal es el encargado de mover los brazos de tal manera que se abren o cierran para desacoplar o ajustar el carrete en la máquina. Dicho subsistema está compuesto por dos partes gemelas que controlan cada uno de los brazos.

Como podemos observar en la Figura 66 para mover los brazos tenemos cuatro componentes principales:

- 1: Eje principal, el cual funciona como apoyo y guía del brazo para el movimiento lineal horizontal y rotacional de vertical.
- 2: Tornillo de potencia, se encarga de convertir el movimiento rotacional del tornillo a lineal en el brazo, funcionan como tornillo sin fin en conjunto con la tuerca acoplada a cada brazo (ver Figura 67).
- 3: Sistema de transmisión engranaje-cadena (ver Figura 68), este sistema se encarga de transmitir el movimiento rotacional del motor eléctrico al tornillo de potencia, tiene una relación de transmisión $i = 1,18$, la cual reduce la velocidad de movimiento aumentando el par de tal manera que se puede asegurar el movimiento incluso a plena carga (1500 Kg).
- 4: Motor eléctrico (ver Figura 68), es un motor de 2 hp de potencia con una velocidad de 1600 rpm. Este motor se encuentra conectado al tablero de control en donde se controla el encendido del mismo y el sentido de giro.

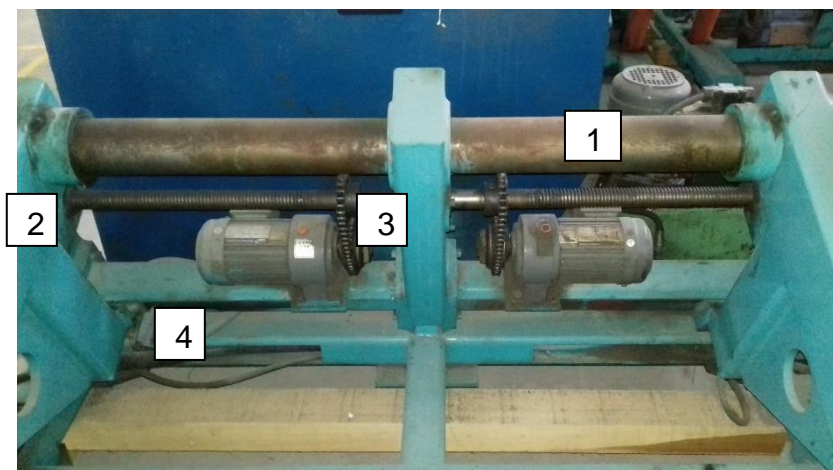


Figura 66. Subsistema de movimiento horizontal



Figura 67. Tuerca del Conjunto Tornillo Sin Fin



Figura 68. Conjunto Motor, Piñón-Cadena

Tras pruebas de este subsistema se pudo determinar que el tornillo de potencia ubicado en el costado derecha de la máquina se encontraba flejado (ver Figura 69), de

tal manera que al moverse el brazo chocaba con el soporte inferior produciendo un fuerte sonido, y si se habría dejado trabajar así al subsistema podría haber causado una rotura de la base del brazo o del soporte.



Figura 69. Prueba de dobles del tornillo de potencia

Se procedió a desmontar el subsistema para su limpieza y mantenimiento, todos los rodamientos fueron engrasados nuevamente para prolongar su vida útil, de igual manera la cadena y engranes. El motor eléctrico fue analizado y probado, asegurando que sus partes móviles no se han deteriorado y cumplen con pleno funcionamiento.

Por otra parte, se montó el tornillo de potencia en un torno para medir el grado de flejado (ver Figura 69), teniendo así la certeza de que el problema estaba identificado correctamente. A continuación, se tomaron las medidas necesarias, se realizó el plano del tornillo de potencia (ver Anexo 4) para manufacturar un nuevo tornillo de potencia.

Una vez manufacturado el componente se procedió a montar nuevamente todo el subsistema, se realizó pruebas dando como resultado el funcionamiento correcto de todo el subsistema.

4.1.3 *Mantenimiento Sistema Neumático*

El sistema neumático perteneciente a la máquina PF-1000M (ver Figura 70) es bastante simple, consta de un cilindro neumático conectado a la unidad de mantenimiento la cual se encarga de regular la presión que alimenta el cilindro. La presión ejercida al cilindro es un factor muy importante en el funcionamiento de la máquina, puesto que el cilindro neumático está acoplado a un pivote (ver Figura 71) el cual regula la tensión del cable, si la presión es demasiada el cilindro ejerce demasiada tensión al cable y lo puede romper, si la presión es muy baja no ejerce tensión en el cable y este se puede enredar al entrar en la máquina.

El proceso de mantenimiento fue sencillo, se realizó la limpieza de todos los componentes comprobando su buen funcionamiento y se cambió la manguera que une los dos elementos puesto que ya tenía un desgaste considerable. De igual manera en el pivote se realizó el cambio de rodamientos los cuales se encontraban dañados, los rodamientos cambiados fueron del modelo: 6001 marca: SKF



Figura 70. Sistema Neumático Máquina PF-1000M



Figura 71. Cilindro neumático acoplado al Pivote

4.1.4 Implementación del Sistema Repartidor

Para el correcto arrollado del cable en el carrete es necesario un sistema encargado de desplazar el cable de manera horizontal en un movimiento de vaivén, logrando así que se distribuya equitativamente por toda la superficie del carrete. Este movimiento no solo sirve para una correcta presentación del producto al cliente, también sirve para evitar la acumulación del cable en una sola zona de la superficie evitando así que el cable se enrede cuando se lo desenrolla de la bobina.

En vista de que la máquina PF-1000M tiene como función principal el desenrollar el cable y no enrollarlo en la bobina, es necesario implementar un sistema denominado repartidor el cual cumpla con la función de generar el movimiento de vaivén del cable en la superficie del carrete. Se conoce por pruebas en repartidores funcionales dentro de la fábrica, que las cargas soportadas por dicho sistema no superan los 100 N aplicados en el eje y el torque necesario para que el cable tenga el movimiento de vaivén en el carrete es de 60 N.m. De tal manera que se plantea la repotenciación de un sistema repartidor

(ver Figura 72) cuyo estado es no operativo, el cual se encuentra en la bodega de repuesto, dicho sistema repartidor provino de China como parte de un lote de maquinaria adquirida.



Figura 72. Sistema repartidor

Para ello se calculará el diámetro de eje necesario para soportar la carga solicitada, de esta manera se comprobará si el diámetro de eje en el repartidor a repotenciar es suficiente para soportar la carga, y un conjunto motor - transmisión el cual cumpla con el par solicitado para el correcto funcionamiento del sistema repartidor.

4.1.4.1 Cálculo del Diámetro del Eje

Para el plano YX tenemos las siguientes consideraciones:

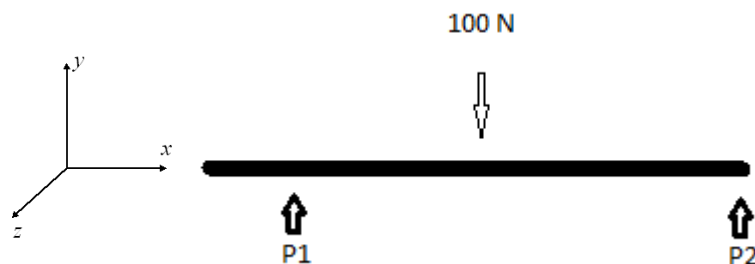


Figura 73. DCL Plano XY

Ecuación 17 Equilibrio de fuerzas en el eje Y

$$\sum Fy = 0$$

$$P1 + P2 - 100 = 0$$

$$P1 = P2$$

$$100 = 2P1$$

$$P1 = P2 = 50 \text{ N}$$

En el caso del plano XZ tenemos los siguientes datos:



Figura 74. DCL Plano XZ

Como se observa en la Figura 74 tenemos un torque en el eje de 60 N.m el cual genera una fuerza en el eje, por cuestión de espacio podemos utilizar un elemento de máximo 7 cm de diámetro para transmitir el movimiento, con ello tenemos el dato necesario para calcular la fuerza aplicada en el eje.

Ecuación 18 Relación torque - distancia

$$T = F * D$$

$$F = \frac{60}{0,035} = 1714,3 \text{ N}$$

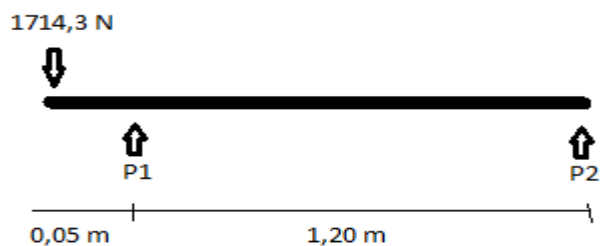


Figura 75. DCL plano XZ

Ecuación 19 Equilibrio de Momentos plano XZ

$$\sum M_{P1} = 0$$

$$1714,3(0,05) - P2(1,20) = 0$$

$$P2 = 71,42 \text{ N}$$

Ecuación 20 Equilibrio de fuerzas en el eje Z

$$\sum F_z = 0$$

$$1714,3 - P1 - 71,42 = 0$$

$$P1 = 1642,88 \text{ N}$$

Tabla 27

Resumen de fuerza p1 y p2 en eje x, z

Fuerzas	Magnitud (N)
P1x	50
P1z	1642,88
P2x	50
P2z	71,42

Una vez calculadas las fuerzas procedemos a encontrar los momentos flectores críticos para utilizar la siguiente ecuación.

Ecuación 21 Compilación de esfuerzos

$$\frac{J}{C} = \frac{\sqrt{M_z^2 + M_y^2 + T^2}}{\tau}$$

Momento en y (My):

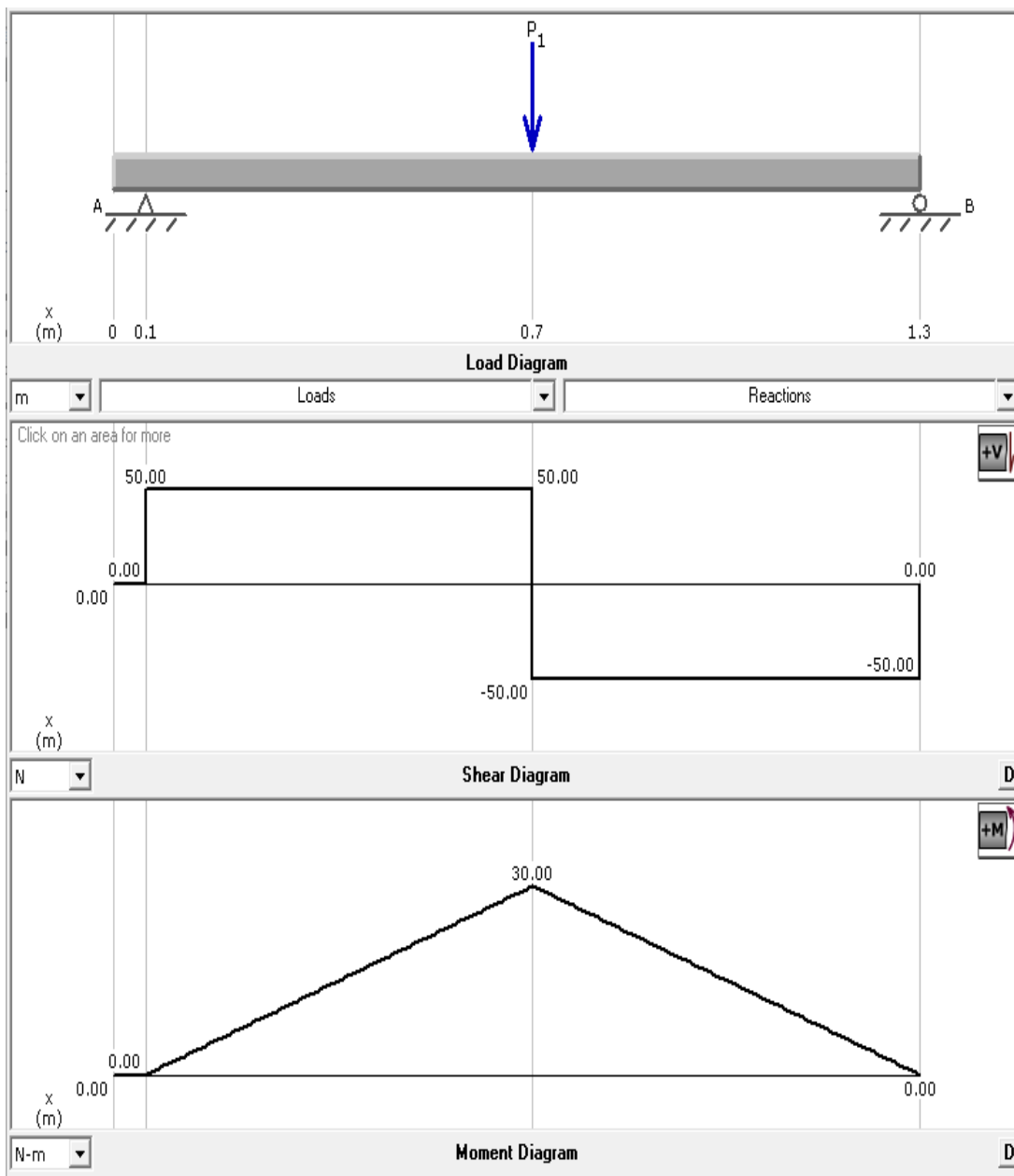


Figura 76. Diagrama de Fuerza Cortante y Momento Flector XY

El momento M_y es de 30 N.m

Momento en z (M_z):

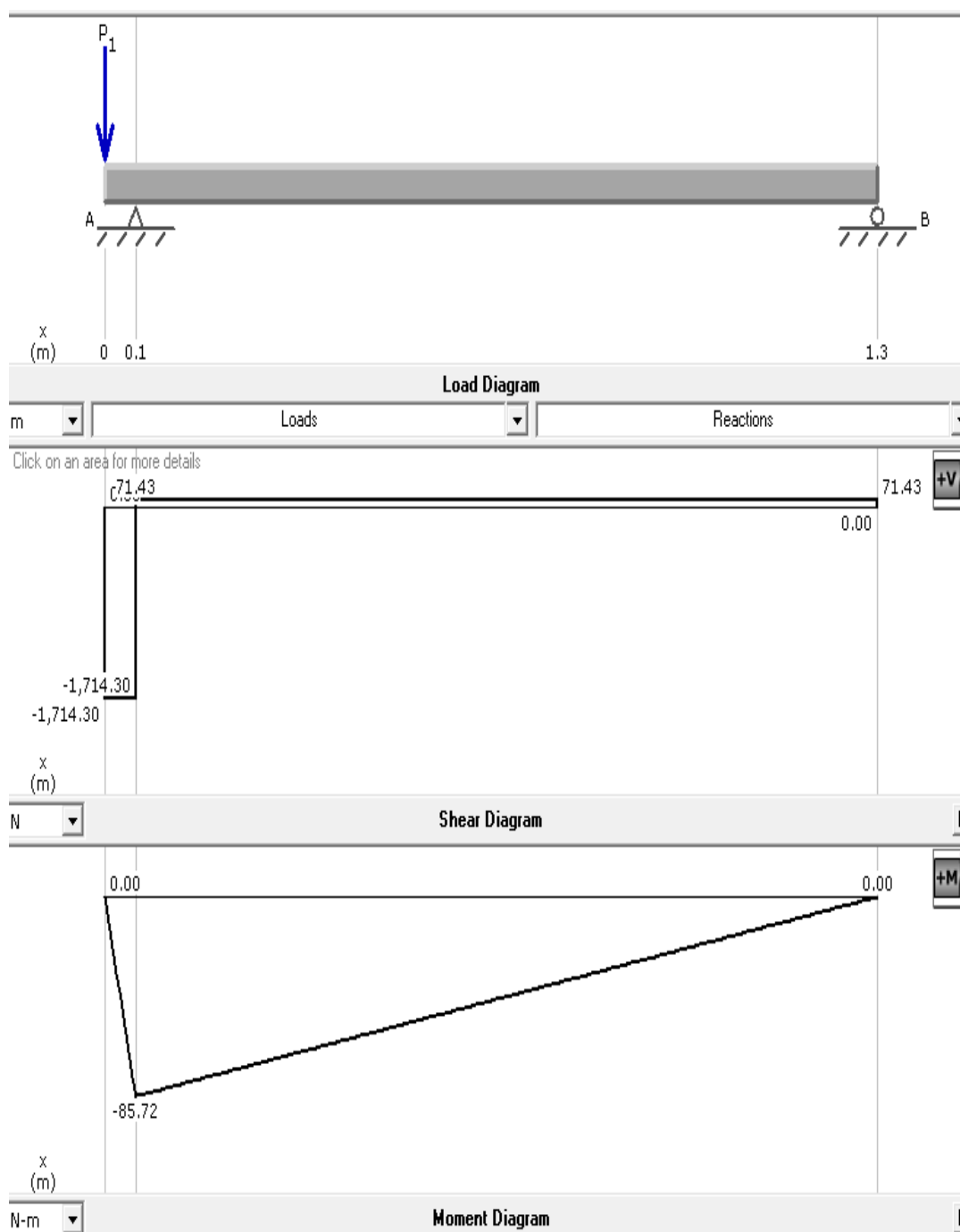


Figura 77. Diagrama de Fuerza Cortante y Momento Flector XZ

El momento M_z es de 85,72 N.m

Torque (T):

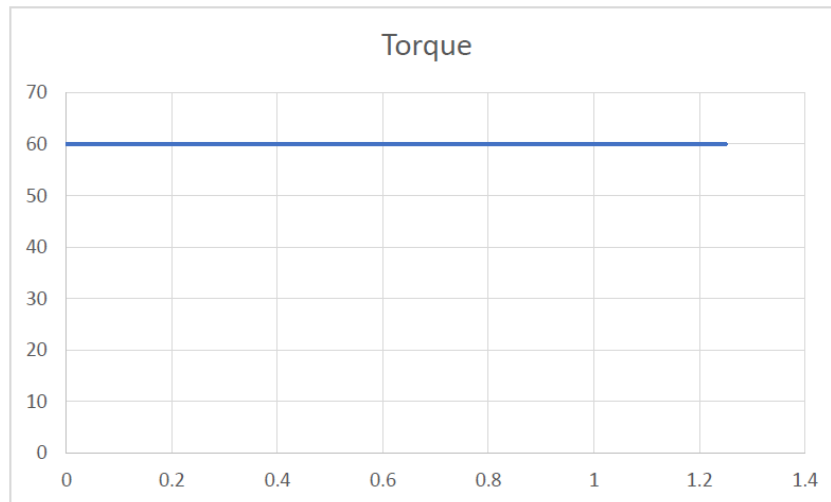


Figura 78. Torque

$$\frac{J}{C} = \frac{\sqrt{M_z^2 + M_y^2 + T^2}}{\tau}$$

$$\frac{\pi}{2} * C^3 = \frac{\sqrt{85,716^2 + 30^2 + 60^2}}{690 * 10^6}$$

$$C(\text{radio}) = 0,004648 \text{ m} = 4,6 \text{ mm}$$

$$\text{Diámetro} = 9,2 \text{ mm}$$

El diámetro mínimo del eje es 9,2 mm de tal manera que el repartidor a repotenciar cumple con las especificaciones dadas al tener un eje de 50 mm. A continuación, se realiza una comprobación del eje a implementar.

4.1.4.2 Comprobación por el Método de Elementos Finitos

Materiales

Se utilizará la siguiente lista de materiales en los distintos elementos, ya que son materiales de fácil acceso y bajo costo. Cada material tiene distintas aplicaciones: hierro fundido para los soportes, acero ASTM A36 para los rodamientos y acero AISI 1050 para el eje.

Tabla 28
Materiales del repartidor

Descripción		
Nombre	Acero ASTM A36	
General	Densidad de masa	7,85 g/cm ³
	Límite de elasticidad	248,225 MPa
	Resistencia máxima a tracción	399,9 MPa
Tensión	Módulo de Young	199,959 GPa
	Coeficiente de Poisson	0,3 su
	Módulo cortante	76,9073 GPa
Nombre	Hierro, fundido	
General	Densidad de masa	7,15 g/cm ³
	Límite de elasticidad	758 MPa
	Resistencia máxima a tracción	884 MPa
Tensión	Módulo de Young	120,5 GPa
	Coeficiente de Poisson	0,3 su
	Módulo cortante	46,3462 GPa
Nombre	Acero AISI 1050	
General	Densidad de masa	7,85 g/cm ³
	Límite de elasticidad	206,842 MPa

CONTINÚA

	Resistencia máxima a tracción	517,104 MPa
Tensión	Módulo de Young	199,947 GPa
	Coeficiente de Poisson	0,3 su
	Módulo cortante	76,9027 GPa

Mallado

Se utiliza un mallado con:

Nodos: 553178

Elementos: 356130

Soportes

Se aplicaron dos soportes fijos detallados a continuación:

Restricción fija:1

Cara(s) seleccionada(s)

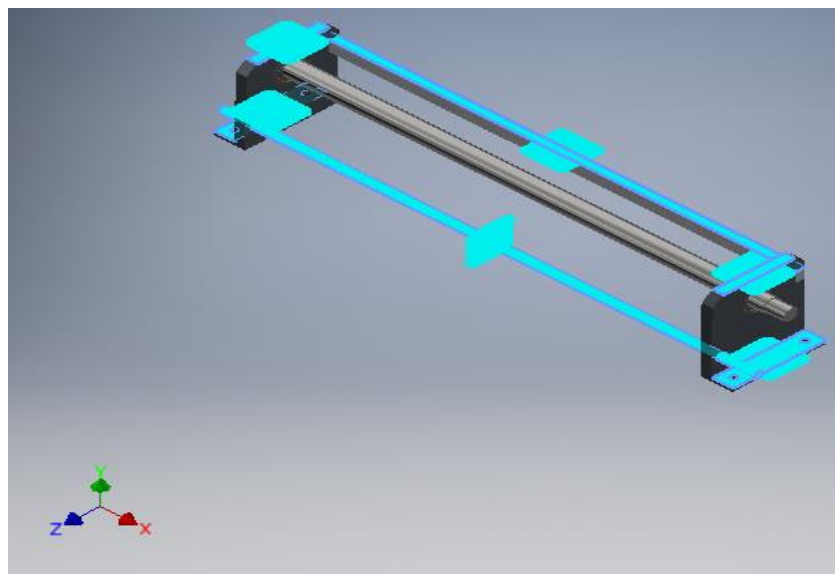
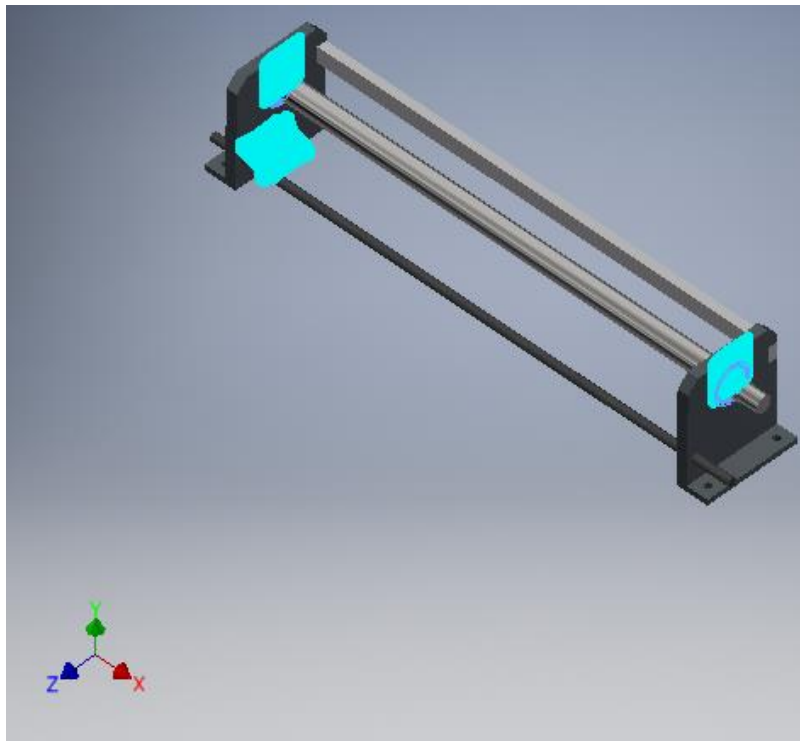


Figura 79. Restricción fija 1

Restricción fija:2

Cara(s) seleccionada(s)

**Figura 80.** Restricción fijo 2

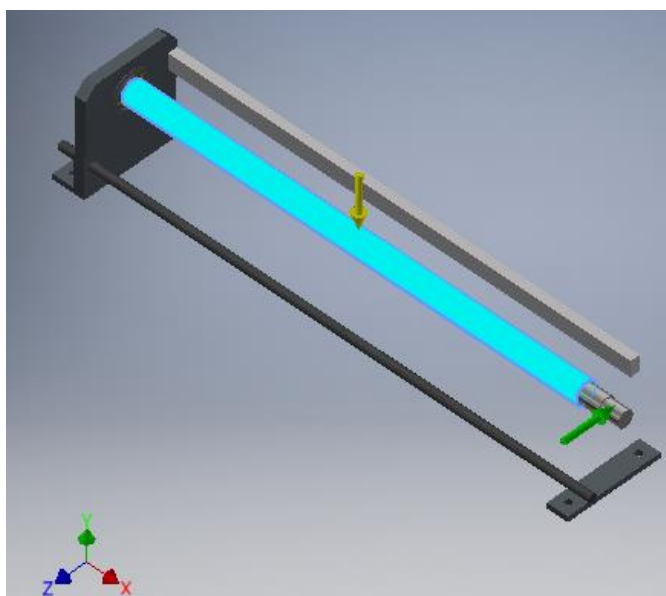
Condiciones de funcionamiento

Tabla 29*Cargas aplicadas fuerza 1*

Tipo de carga	Fuerza
Magnitud	100,000 N
Vector X	0,000 N
Vector Y	-100,000 N
Vector Z	0,000 N

Tabla 30*Cargas aplicadas fuerza 2*

Tipo de carga	Fuerza
Magnitud	1800,000 N
Vector X	0,000 N
Vector Y	-0,000 N
Vector Z	-1800,000 N

**Figura 81.** Cargas Aplicadas**Tabla 31***Resumen de resultados*

Nombre	Mínimo	Máximo
Tensión de Von Mises (Figura 82)	0 MPa	58,0866 MPa
Primera tensión principal	-22,94 MPa	58,8484 MPa
Desplazamiento	0 mm	0,0128855 mm
Coefficiente de seguridad (Figura 83)	4,74789 su	15 su
Desplazamiento X	-0,00321543 mm	0,00325005 mm

CONTINÚA

CONTINÚA

Desplazamiento Y	-0,00834201 mm	0,000191651 mm
Desplazamiento Z	-0,0125152 mm	0,0022401 mm
(Figura 84)		
Deformación equivalente	0 su	0,000258597 su

Como se puede observar en la Tabla 31 obtuvimos un resumen de resultados del análisis por elementos finitos, concluyendo que el eje a utilizar cumple con la solicitud de esfuerzos para la aplicación. Obteniendo una tensión de Von Mises de 58,08 MPa muy inferior a los 206,8 MPa de límite elástico del acero AISI 1050, con un desplazamiento máximo de 0,012 mm y un Factor de Seguridad mínimo de 4,7 y máximo de 15, cabe recalcar que dicho coeficiente de seguridad nos da como conclusión el hecho de que el eje está sobre dimensionado para los esfuerzos solicitados, pero se decidió utilizar este eje y sistema repartidor porque cumple con su función y tiene un costo de cero dólares lo cual significa un ahorro para la empresa INCOREA cables.

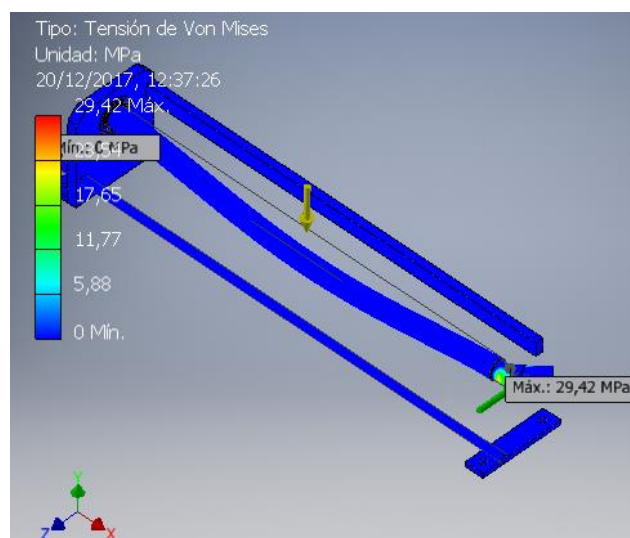


Figura 82. Tensión de Von Mises

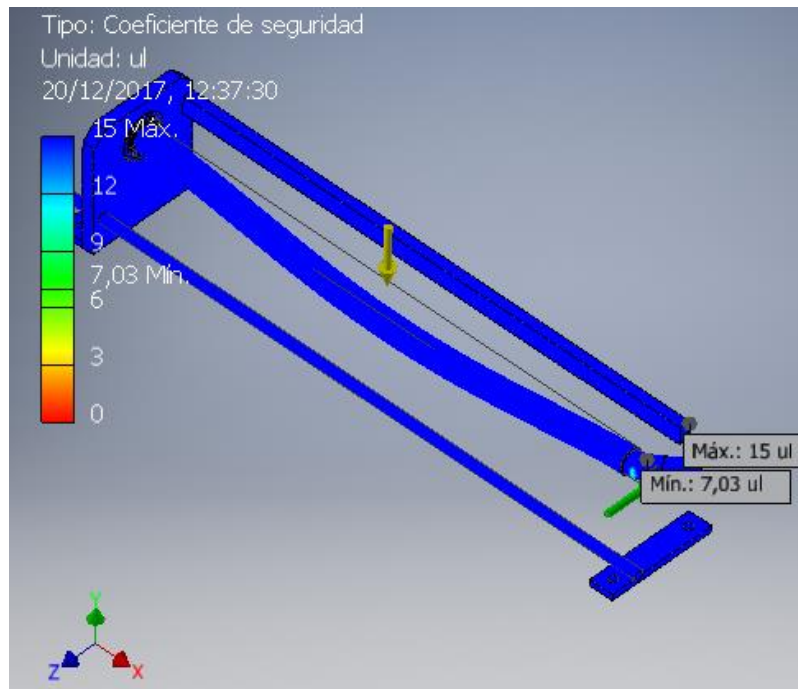


Figura 83. Factor de seguridad

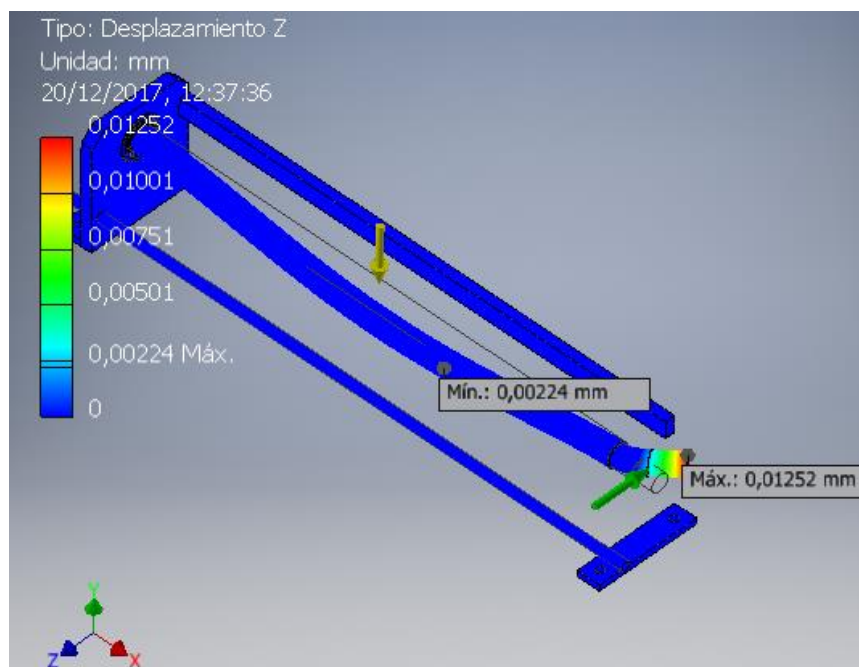


Figura 84. Desplazamiento Máximo - Eje Z

4.1.4.3 Comprobación del Límite de Resistencia por Fatiga

Se realizará el cálculo del factor de seguridad del eje de tal manera que comprobaremos su resistencia ante la solicitud de carga. (Nisbett, 2008)

Utilizaremos los datos del material Acero AISI 1050 (Nisbett, 2008) el cuál es utilizado en el eje.

$$S_{ut} = 690 \text{ Mpa}$$

Ecuación 22 Factores modificantes

$$S_e = K_a \cdot K_b \cdot K_c \cdot K_d \cdot K_e \cdot K_f \cdot S_e'$$

Factor de condición superficial

$$K_a = a \cdot S_{ut}^b$$

$$a = 4,51$$

$$b = -0.265$$

$$K_a = 4,51 * 690^{-0.265}$$

$$K_a = 0.79$$

Factor de tamaño

$$K_b = 1,24 * d^{-0,107}$$

$$K_b = 1,24 * 50^{-0,107}$$

$$K_b = 0,81$$

Factor de carga

$$K_c = 1$$

Factor de temperatura

$$K_d = 1$$

Factor de confiabilidad (99,9)

$$K_e = 0,753$$

Factor de modificación por varios efectos

$$K_f = 1$$

Límite de resistencia por fatiga

$$S_e' = 0,5 * 690$$

$$S_e' = 345$$

$$S_e = K_a \cdot K_b \cdot K_c \cdot K_d \cdot K_e \cdot K_f \cdot S_e'$$

$$S_e = 0,79 * 0,81 * 1 * 1 * 0,753 * 1 * 345$$

$$S_e = 166.263 \text{ MPa}$$

Cálculo del número de ciclos

Utilizando la gráfica de esfuerzo-número de ciclos del acero encontraremos el límite de ciclos de vida útil del eje utilizado.

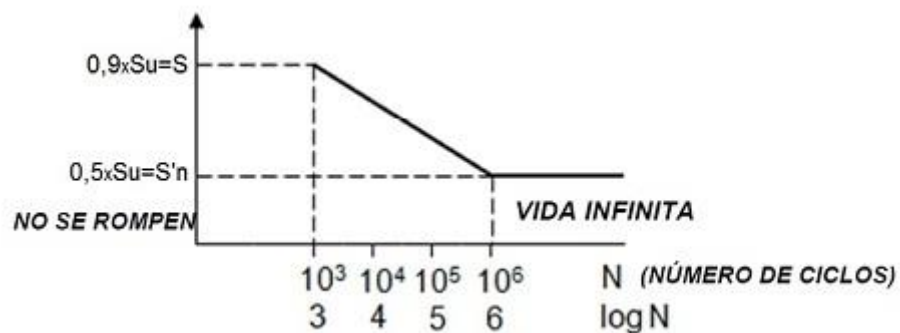


Figura 85. Esfuerzo-Número de Ciclos

Fuente: (Ingemecánica, 2017)

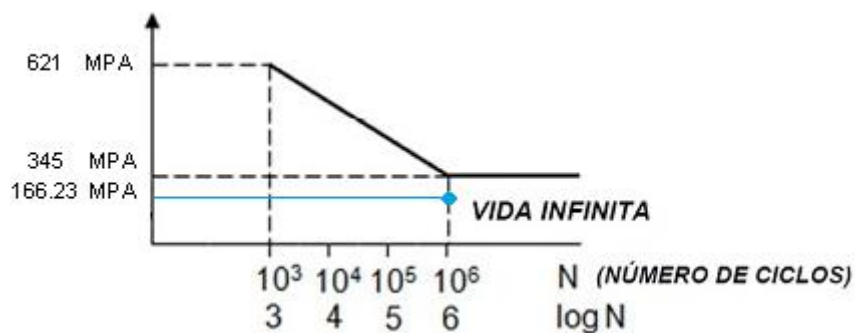


Figura 86. Número de Ciclos de Vida

Como se observa en la Figura **86** el eje se somete a un número de ciclos equivalente a 10^6 , lo cual conlleva a concluir que el eje tiene una vida infinita de acuerdo a solicitud aplicada.

4.1.4.4 Sistema de transmisión de movimiento

Para realizar el movimiento de vaivén se necesita un motor y un sistema de transmisión del movimiento circular. En la fábrica ubicamos un motor (ver Figura 87) con las siguientes características:

Tabla 32

Características motor - repartidor

Característica	Valor
Potencia	0,25 hp
Velocidad	1360 rpm
Voltaje	220 v
Corriente	1,1 A



Figura 87. Motor para Repartidor

Dicho motor se encuentra conectado a un reductor con relación 1/46. Con ello tenemos una velocidad de salida de 29 rpm. Lo cual produce un torque a la salida de 60,52 N.m (Ecuación 23), lo cual cumple con la solicitud de torque de 60 N.m.

Ecuación 23 Ecuación torque motor eléctrico

$$M = \frac{P}{\omega}$$

M= torque del motor (N.m)

P= Potencia del motor (W)

ω = Velocidad del motor (rad/s)

$$M = \frac{186,42}{3,08} = 60.52 \text{ N.m}$$

Para transmitir el movimiento circular del motor hacia el eje del repartidor realizamos una selección de componentes, tomando en cuenta la restricción de tamaño del elemento a 7 cm aproximadamente por los cálculos previamente descritos.

Tabla 33
Selección sistema de transmisión

Características	Polea - banda	Engranaje recto	Piñón - cadena
Tamaño	Se puede utilizar una polea de 3", se aproxima a la medida solicitada. La banda tiene normados los tamaños por lo cual se debe acoplar el sistema a un tamaño fijo.	El tren de engranes ocupa un tamaño mayor al solicitado, con la dificultad que representa la instalación de este sistema.	Se puede utilizar engranes semejantes a los 7 cm deseados, con la facilidad de utilizar una cadena la cual tiene una longitud variable, siendo un sistema flexible con mayor facilidad de acoplarlo.
Ventaja	<ul style="list-style-type: none"> • Operación silenciosa • Larga vida útil si son bien instaladas • Eficiencia mecánica media 	<ul style="list-style-type: none"> • Transmisión de altas potencias y velocidades • No existe deslizamiento en la transmisión. • Fiabilidad de funcionamiento 	<ul style="list-style-type: none"> • Deslizamiento nulo en la transmisión • No es necesaria la corrección constante de la tensión. • Sencillez de instalación
Desventaja	<ul style="list-style-type: none"> • Crean un sobre esfuerzo en el arranque el cual produce fatiga. • Posibilidad de deslizamiento en la transmisión. 	<ul style="list-style-type: none"> • Dificultad y costo elevado de manufactura. • Sistema ruidoso • Conjunto de dimensión grande 	<ul style="list-style-type: none"> • No permite la transmisión cruzada, cambiando en todo caso el sentido de giro. • Transmisión no silenciosa. • Necesita lubricación.

CONTINÚA

- El mantenimiento de la tensión de la correa se debe realizar constantemente.

Fuente: (MG industrial, 2017)

Basándonos en la Tabla 33 se puede observar que el sistema de transmisión idóneo para el repartidor es el piñón – cadena, ya que tiene altas prestaciones mecánicas sin deslizamiento en la transmisión. Tiene facilidad de instalación ya que la cadena debe tener una tensión adecuada pero no debe ser exacta. Tomando en cuenta que se debe dar un mantenimiento adecuado con lubricación constante en la cadena.

- Transmisión por piñón cadena:

Es un sistema de transmisión el cual cuenta con dos engranes unidos por un enlace flexible (cadena), los cuales se utilizan para potencias altas y bajas velocidades. En nuestro caso la potencia transmitida es baja, pero aplica ya que la velocidad a la que se gira el eje del repartidor es baja y se necesita que se mantenga la relación de transmisión constante, lo cual es una característica de dicho sistema de transmisión. El hecho de no tener una tensión alta en los engranes disminuye la carga en los ejes y rodamientos de tal manera que disminuye el desgaste en estos elementos y por ello el mantenimiento. La instalación de este tipo de sistemas es sencilla teniendo una alta durabilidad sin ajustes frecuentes de tensión.

- Diseño de la transmisión:

En primer paso se debe calcular la potencia a transmitir (Figura 88).

1. Determinar la Potencia de Diseño (Pd). Pd = Potencia a Transmitir (Pn,) por el factor de servicio. Ejemplo: 3Hp x 1.4 Potencia de diseño: 4.2HP			Características del Impulsor		
	Características de la Máquina Impulsada		OPERACIÓN SUAVE Motores eléctricos, turbinas a vapor o a gas.	GOLPETEO LIGERO motores eléctricos con arranques frecuentes.	GOLPETEO MODERADO Motores de combustión interna con menos de 4 cilindros y acoplamiento mecánico.
	OPERACION SUAVE	Bombas centrífugas y compresores, máquinas punteadoras, calandrias papeleras, transportadores uniformemente cargados, escaleras, agitadores para líquidos y mezcladores, secadores rotatorios y ventiladores.	1	1.1	1.3
	GOLPETEO LIGERO	Bombas y compresores (3 o más cilindros), máquinas mezcladoras de concreto, transportadores no cargados uniformemente, agitadores y mezcladores de sólidos.	1.4	1.5	1.7
	GOLPETEO FUERTE	Aplanadoras, excavadoras, molinos de rodillos y de bolas, máquinas procesadoras de hule, bombas y compresores de 1 y 2 cilindros, prensas y perforadoras petroleras.	1.8	1.9	2.1

Figura 88. Diseño de Transmisión

Fuente: (MG industrial, 2017)

Ecuación 24 Potencia de transmisión

$$Pd = Potencia * Factor de servicio$$

$$Pd = 0.25 * 1 = 0,25 Hp$$

A continuación, se utiliza la gráfica RPM - HP de la Figura 89 en donde se compara la velocidad del piñón (29 rpm) y la potencia requerida (0,25 Hp) para seleccionar el paso correcto de la cadena. Obteniendo como resultado un paso de ANSI 40 (12,7 mm) para una cadena simple.

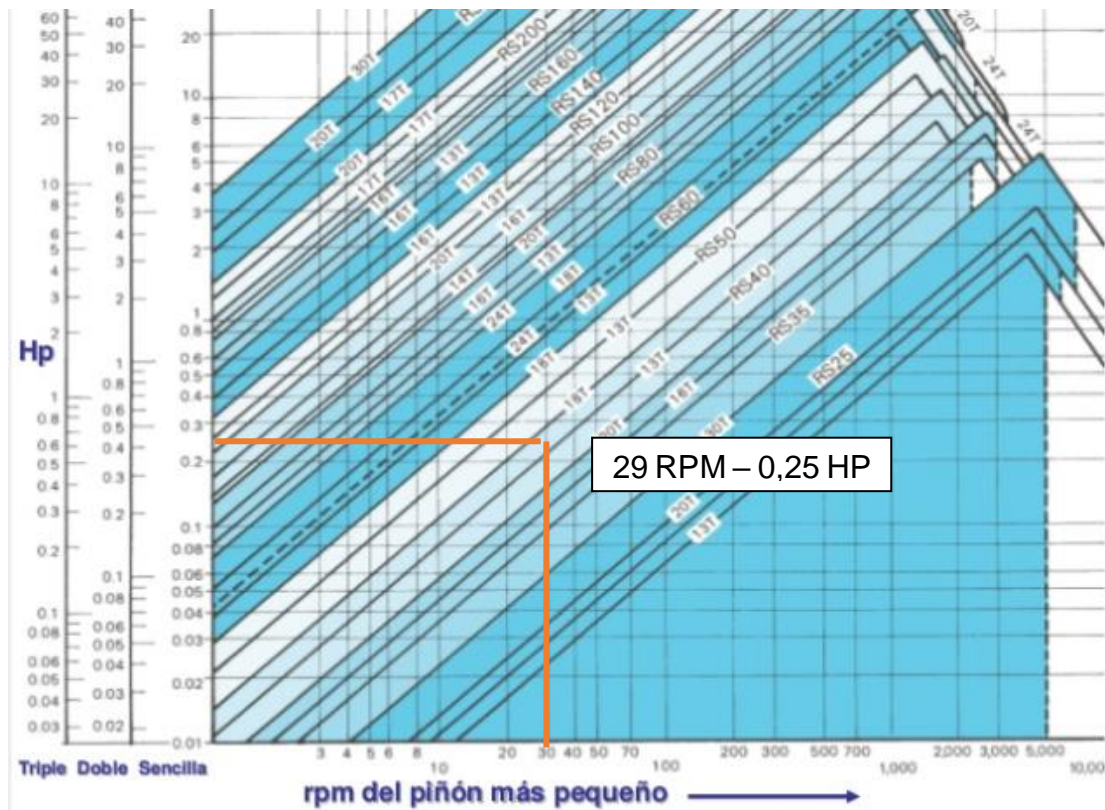


Figura 89. Selección del Paso de Cadena
Fuente: (MG industrial, 2017)

Una vez escogido el paso de la cadena se procede a seleccionar el piñón correcto, como se observó anteriormente se necesita un elemento de 7 cm de diámetro por lo cual se procede a calcular el número de dientes del piñón con paso 40 (12,7 mm).

Ecuación 25 Cálculo del módulo a partir del paso

$$P = \pi * M$$

$$M = \frac{12,7}{\pi} = 4,04$$

Ecuación 26 Cálculo de diámetro primitivo con dato diámetro exterior

$$De = Dp + 2 * M$$

$$Dp = 64 - 2 * 4,04 = 55,92 \text{ mm}$$

Ecuación 27 Cálculo de Número de dientes con dato de diámetro primitivo

$$D_p = Z * M$$

$$Z = \frac{55,92}{4,04} = 13,84 \sim 14 \text{ dientes}$$

Corregimos la potencia máxima que se puede aplicar basándonos en la Figura 90.

Ecuación 28 Interpolación lineal

$$y' = y_{-1} * \frac{y - y_{-1}}{x - x_{-1}} * (x - x_{-1})$$

$$y' = 0,24 + \frac{0,44 - 0,24}{50 - 25} * (29 - 25)$$

$$y' = 0.272 \text{ Hp}$$

2.1 Rangos de Potencia para una Cadena Paso 40															
Potencia máxima															
No. de dientes piñón pequeño	Máxima Velocidad del piñón más pequeño rpm														
	10	25	50	100	200	300	400	500	700	900	1000	1200	1400	1600	1800
	A										B				
11	0.08	0.19	0.35	0.64	1.21	1.73	2.24	2.74	3.70	4.65	5.11	6.02	6.81	5.58	4.67
12	0.09	0.20	0.38	0.71	1.31	1.90	2.47	3.00	4.08	5.11	5.62	6.61	7.60	6.36	5.31
13	0.09	0.23	0.42	0.76	1.43	2.07	2.68	3.29	4.44	5.57	6.13	7.21	8.29	7.16	5.99
14	0.11	0.24	0.44	0.83	1.56	2.24	2.91	3.55	4.81	6.03	6.64	7.82	8.97	8.01	6.71
15	0.11	0.25	0.48	0.90	1.68	2.41	3.14	3.84	5.19	6.50	7.15	8.42	9.67	8.88	7.43
16	0.12	0.28	0.52	0.97	1.80	2.59	3.35	4.10	5.55	6.97	7.66	9.03	10.4	9.79	8.18
17	0.13	0.30	0.55	1.03	1.92	2.76	3.58	4.39	5.93	7.44	8.18	9.64	11.1	10.7	8.97
18	0.13	0.31	0.59	1.10	2.04	2.95	3.81	4.67	6.32	7.91	8.70	10.2	11.8	11.7	9.76
19	0.15	0.34	0.62	1.17	2.17	3.12	4.05	4.95	6.69	8.39	9.23	10.9	12.5	12.7	10.5
20	0.16	0.35	0.66	1.23	2.29	3.30	4.28	5.23	7.07	8.86	9.75	11.5	13.2	13.7	11.1
21	0.16	0.38	0.70	1.29	2.41	3.47	4.51	5.51	7.46	9.35	10.3	12.1	13.9	14.8	12.4
22	0.17	0.39	0.72	1.35	2.53	3.66	4.73	5.79	7.84	9.83	10.8	12.7	14.6	15.8	13.2
23	0.17	0.42	0.76	1.42	2.67	3.84	4.98	6.07	8.22	10.3	11.3	13.4	15.3	16.9	14.1

Figura 90. Rango de Potencia Cadena ANSI 40

Fuente: (MG industrial, 2017)

Como se observa podemos aplicar una potencia máxima de 0,276 Hp a nuestro sistema de transmisión de potencia, lo cual está sobre la potencia aplicada de 0,25 Hp. De esta manera corroboramos que el diseño del sistema de transmisión es adecuado.

4.1.4.5 Implementación de un soporte para el sistema repartidor

El sistema repartidor debe ser acoplado a la máquina mediante una base empotrada a la máquina de tal manera que su funcionalidad sea total sin interferir en el movimiento de la máquina. El sistema repartidor debe ser colocado en la parte frontal de la máquina, recibiendo el cable y moviéndolo en sentido horizontal a lo largo del carrete.

Se decidió diseñar una base en voladizo, empernada al soporte principal de la máquina, utilizando así una unión empernada existente evitando nuevas perforaciones o soldaduras. Para la selección del material se buscó dentro de la bodega de materiales de la fábrica, existiendo una cantidad amplia de perfil en L 50x50x6 mm de acero A36. Por lo que se diseñó utilizando un programa CAD y mediante la técnica de análisis por elementos finitos se comprobó el desempeño del diseño con dicho material.

- Diseño CAD

El resultado del diseño se lo puede observar a detalle en el Anexo 2, Anexo 3, Anexo 4, en la Figura 91 se ve el diseño en 3D.



Figura 91. Soporte repartidor - CAD

- Comprobación por el Método de Elementos Finitos

Materiales

Tabla 34

Descripción del comportamiento del acero

Nombre	Acero ASTM A36	
General	Densidad de masa	7,85 g/cm ³
	Límite de elasticidad	248,225 MPa
	Resistencia máxima a tracción	399,9 MPa
Tensión	Módulo de Young	199,959 GPa
	Coefficiente de Poisson	0,3 su
	Módulo cortante	76,9073 GPa

Mallado

Se utiliza un mallado con:

Nodos: 26690

Elementos: 12869

Soportes

Se aplicó un soporte fijo detallado a continuación:

Restricción fija:1

Cara(s) seleccionada(s)

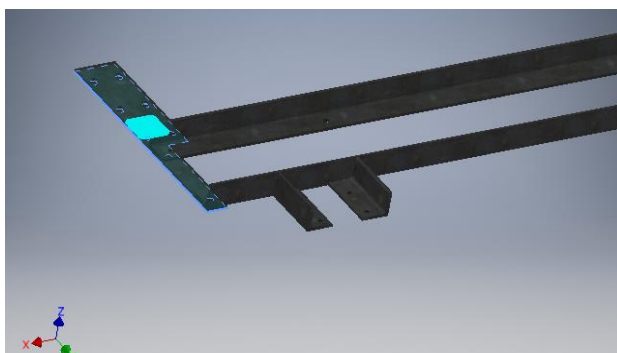


Figura 92. Restricción fija 1

Condiciones de funcionamiento

Tabla 35

Distribución de cargas aplicadas fuerza 1

Distribución de fuerza 1			
Tipo de carga	Fuerza	Tipo de carga	Fuerza
Magnitud	117,500 N	Magnitud	117,500 N
Vector X	0,000 N	Vector X	0,000 N
Vector Y	0,000 N	Vector Y	-0,000 N
Vector Z	-117,500 N	Vector Z	-117,500 N
Tipo de carga	Fuerza	Tipo de carga	Fuerza
Magnitud	117,500 N	Magnitud	117,500 N
Vector X	0,000 N	Vector X	0,000 N
Vector Y	-0,000 N	Vector Y	-0,000 N
Vector Z	-117,500 N	Vector Z	-117,500 N

Tabla 36

Distribución de cargas aplicadas fuerza 2

Descripción de fuerza 2			
Tipo de carga	Fuerza	Tipo de carga	Fuerza
Magnitud	37,500 N	Magnitud	37,500 N

CONTINÚA

Vector X	0,000 N	Vector X	0,000 N
Vector Y	0,000 N	Vector Y	0,000 N
Vector Z	-37,500 N	Vector Z	-37,500 N
Tipo de carga	Fuerza	Tipo de carga	Fuerza
Magnitud	37,500 N	Magnitud	37,500 N
Vector X	0,000 N	Vector X	0,000 N
Vector Y	0,000 N	Vector Y	0,000 N
Vector Z	-37,500 N	Vector Z	-37,500 N

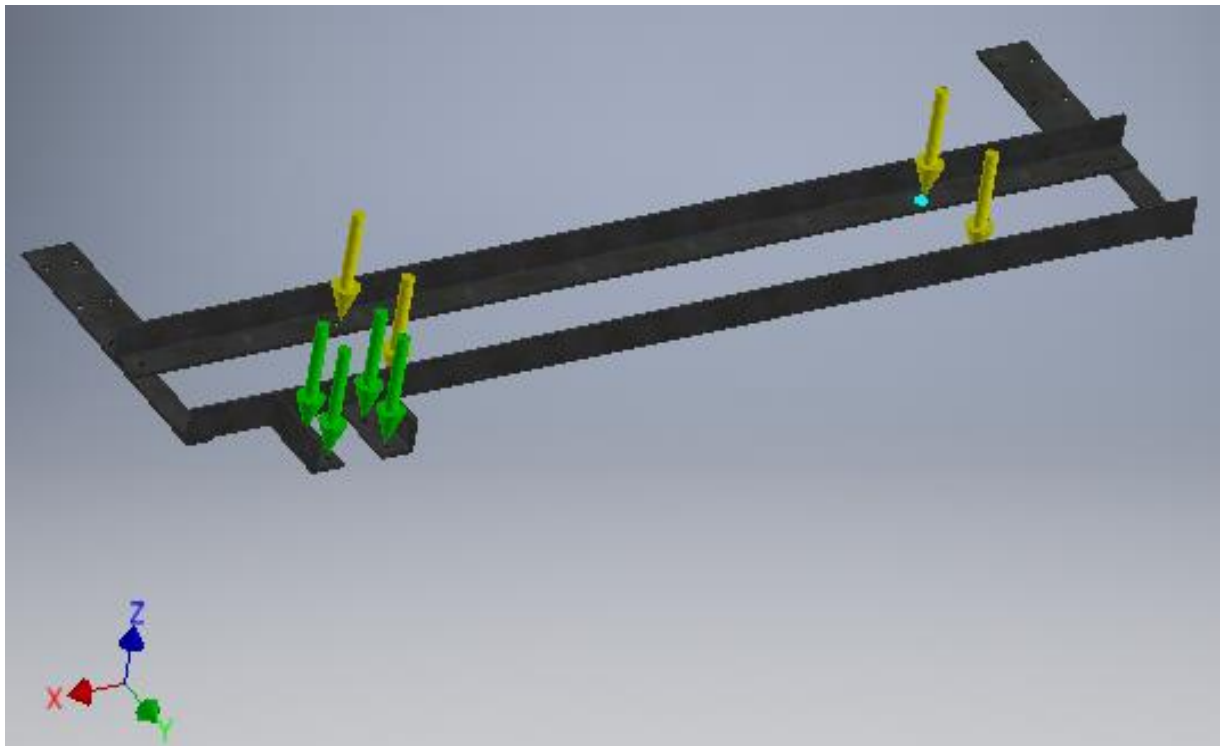


Figura 93. Cargas Aplicadas

Tabla 37
Resumen de resultados

Nombre	Mínimo	Máximo
Tensión de Von Mises (Figura 94)	0,000000341062 MPa	18,4828 MPa
Primera tensión principal	-4,32728 MPa	16,0985 MPa
Desplazamiento (Figura 95)	0 mm	0,19636 mm
Coefficiente de seguridad (Figura 96)	13,43 su	15 su
Desplazamiento X	-0,011162 mm	0,0200938 mm
Desplazamiento Y	-0,0384751 mm	0,0704404 mm
Desplazamiento Z	-0,183074 mm	0,00880237 mm
Deformación equivalente	0,00000000000192205 su	0,0000859129 su

En el caso del soporte del repartidor la carga aplicada sobre la estructura es mucho menor a la resistencia que posee esta, teniendo un esfuerzo máximo de 18,48 MPa, frente al acero A36 que posee una resistencia de 248,22 MPa, lo cual produce un desplazamiento máximo de 0,19 mm. El factor de seguridad mínimo de 13,43 y máximo de 15 nos lleva a concluir que la estructura está sobredimensionada para la solicitud de cargas a la cual va a estar sometida, pero se decide escoger este material ya que cumple con los requerimientos y tiene un costo mínimo lo cual supone un ahorro para la empresa en el proyecto.

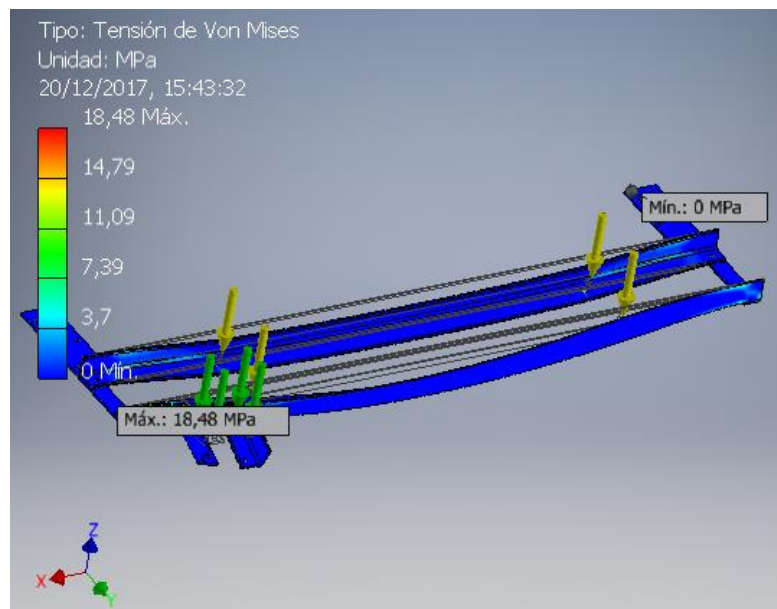


Figura 94. Tensión de Von Mises

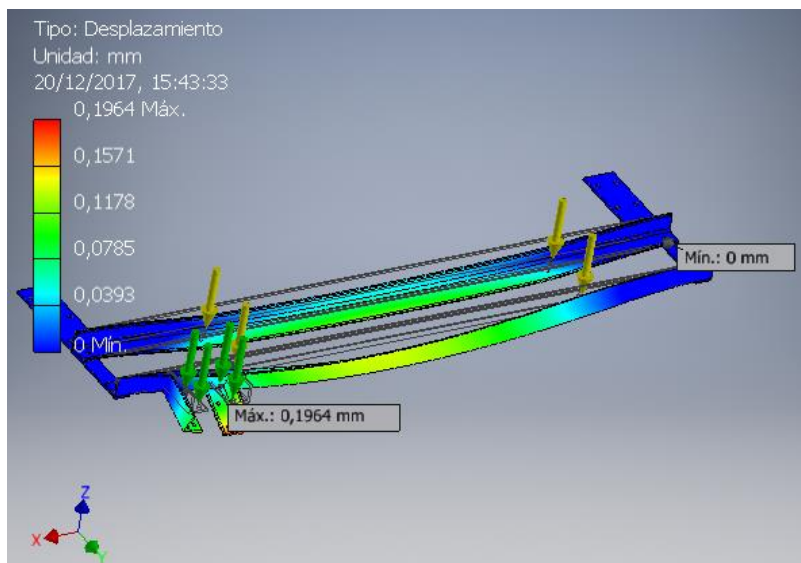


Figura 95. Desplazamiento Máximo

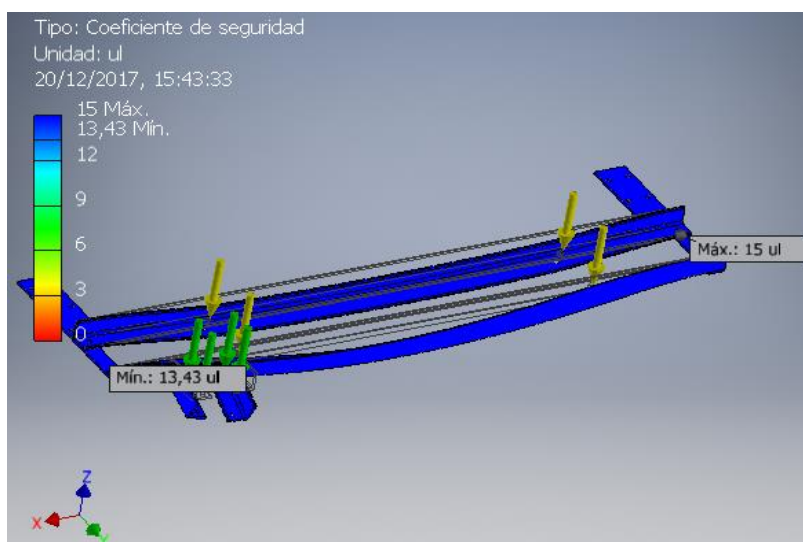


Figura 96. Factor de Seguridad

Como resultado final tenemos un sistema repartidor empotrado en una base sujeta a la máquina, dicho sistema es robusto y tiene un mínimo, con lo cual al ser implementado modificará de manera exitosa el funcionamiento de la máquina permitiendo arrollar el cable en un carrete.

- Mantenimiento sistema repartidor

Para un correcto mantenimiento y puesta en marcha del sistema repartidor se procedió a desarmar y limpiar todas las piezas, eliminando el óxido presente en algunas de ellas, se eliminó la grasa y lodo acumulado dentro de la carcasa donde se ubican los rodamientos trapezoidales (ver Figura 97, Figura 98). Se comprobó el correcto funcionamiento de todos los rodamientos, encontrando fallas en 2 rodamientos secundarios exteriores del modelo 6001 (ver Figura 99) que sirven de guía para el movimiento, y 2 rodamientos principales del modelo 6207 (ver Figura 100) los cuales soportan el eje. Siendo reemplazados todos estos elementos.

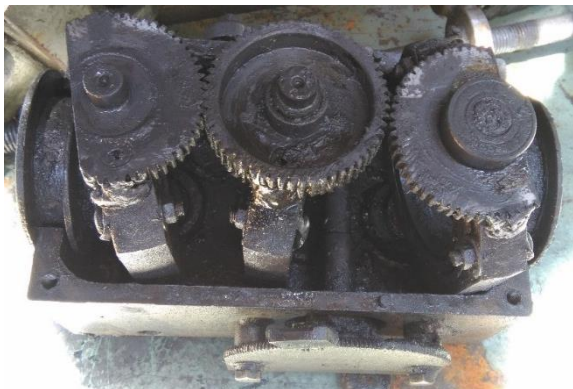


Figura 97. Estado Previo Sistema Repartidor



Figura 98. Limpieza y Engrasado de Sistema Repartidor



Figura 99. Reemplazo rodamientos 6001



Figura 100. Reemplazo rodamientos 6702

Concluyendo el mantenimiento del sistema repartidor, se procedió a cambiar el eje roscado M12 (ver Figura 101) ya que la rosca se encontraba deteriorada y no permitía el movimiento de los dados roscados sobre ella, los cuales sirven para regular la carrera horizontal del repartidor.



Figura 101. Reemplazo eje roscado M12

- Construcción base sistema repartidor

Una vez aprobado el diseño se dispuso a fabricar la base con perfil en L, siguiendo el plano del Anexo 2, Anexo 3, Anexo 4. Se cortó los perfiles de la longitud necesaria y se perforó los agujeros teniendo en cuenta la precisión de las medidas para que todos los agujeros calzaran perfectamente permitiendo un montaje rápido y sin inconvenientes. Para las bases que se acoplan a las perforaciones roscadas de la máquina se procedió

a cortar una platina de 6 mm de espesor de acero A36 y soldarla con electrodo 6011 al perfil en L (ver Figura 102), de tal manera que se obtuvo la medida necesaria para cumplir con el diseño propuesto. Para finalizar el proceso de construcción se procedió a pulir la soldadura y pintar todos los elementos con pintura anticorrosiva según los colores reglamentarios de la fábrica INCOREA, Jade y naranja (ver Figura 103).



Figura 102. Bases Empernadas a la Máquina



Figura 103. Proceso de Pintura

4.2 Rediseño del Subsistema Eléctrico

4.2.2 Selección Equipos Sistema Eléctrico

Como se pudo observar en el capítulo 3 el sistema electrónico tiene varios elementos faltantes o que deben ser reemplazados por lo cual seleccionaremos los elementos partiendo de la corriente que circulará por el circuito. Basándonos en la Figura 41

tenemos como dato que el motor principal de la máquina tiene una potencia de 7.5 Hp (5.5 KW) con un factor de potencia de 0,84. Con lo cual podemos calcular la corriente a través de la Ecuación 29.

Ecuación 29 Corriente Motor Principal

$$i = \frac{P}{\sqrt{3} * U * \cos \phi}$$

$$i = \frac{5500}{\sqrt{3} * 440 * 0,84} = 8,6 A$$

- **VARIADOR DE FRECUENCIA**

Para la selección del variador de frecuencia se debe tomar en cuenta datos técnicos del motor a controlar y de la fuente de alimentación.

Motor:

Voltaje: 3 fases 440 v

Potencia: 7.5 Hp

Frecuencia: 60 Hz

Alimentación eléctrica:

Voltaje: 3 fases 440 v

Con estos datos podemos concluir que es necesario un variador de frecuencia el cual trabaje con:

Voltaje de entrada: 3 fases 440v

Voltaje de salida: 3 fases 440.

Frecuencia de salida: Menor o igual a 60 Hz

Potencia soportada: 7.5 Hp

El variador seleccionado es el modelo A700 de la marca Mitsubishi (ver Figura 104), se seleccionó dicho elemento por que cumple con las especificaciones técnicas y su costo en relación con otros variadores de características similares es menor. (ver Figura 105). Para su correcta instalación se utilizará el datasheet correspondiente (Anexo 5).



Figura 104. Variador Mitsubishi A700

400V class

Motor Output (kW) *1	Applicable Inverter Model	Moulded Case Circuit Breaker (MCCB) *2 or Earth Leakage Circuit Breaker (ELB) (NF or NV type)		Input Side Magnetic Contactor*3	
		Power factor improving (AC or DC) reactor		Power factor improving (AC or DC) reactor	
		without	with	without	with
0.4	FR-A740-0.4K	5A	5A	S-N10	S-N10
0.75	FR-A740-0.75K	5A	5A	S-N10	S-N10
1.5	FR-A740-1.5K	10A	10A	S-N10	S-N10
2.2	FR-A740-2.2K	10A	10A	S-N10	S-N10
3.7	FR-A740-3.7K	20A	15A	S-N10	S-N10
5.5	FR-A740-5.5K	30A	20A	S-N20, S-N21	S-N11, S-N12
7.5	FR-A740-7.5K	30A	30A	S-N20, S-N21	S-N20, S-N21
11	FR-A740-11K	50A	40A	S-N20, S-N21	S-N20, S-N21

Figura 105. Selección Variador de Frecuencia

- TIMER

Como se mostró en el capítulo 3 el timer se encontraba en malas condiciones por lo cual necesitaba ser reemplazado. De tal manera que se utilizan las características del timer a reemplazar.

Voltaje de bobina: 220 v corriente alterna

Rango: 0 – 10 s

Tipo: Off delay

- TRANSFORMADOR

Para el sistema de control se debe tener un voltaje de 220 v en corriente alterna, por lo cual es necesario adquirir un transformador el cual tenga la capacidad de generar ese voltaje. De igual manera al ser la fuente de alimentación para todos los elementos de control se debe sumar la potencia consumida por estos para calcular la potencia generada por el transformador.

La suma de potencias consumidas por los elementos de control (contactores, timer, relay, etc.) es de 3.5 W. Con este dato se encontrará la potencia aparente del transformador.

Ecuación 30 Potencia Activa

$$P = \sqrt{3} * U * I * \cos \phi$$

$$I = \frac{3,5}{\sqrt{3} * 220 * 0,8} = 0,012 \text{ A}$$

Ecuación 31 Potencia Aparente

$$S = \sqrt{3} * U * I$$

$$S = \sqrt{3} * 220 * 0,012 = 4,37 VA$$

Los transformadores comerciales con la potencia aparente más próxima son de 5 VA, por lo cual se adquirió el siguiente transformador.

Modelo: VPP36–140 Ele

1. Potencia: 5.0VA
2. Entrada: 440VAC, 50/60Hz
3. Salida: 220V 0.14A;



Figura 106. Modelo: VPP36–140 Ele

Podemos ver en el Anexo 6 los planos eléctricos del tablero principal.

4.2.3 Diseño e Implementación Tablero de Control Repartidor

El sistema repartidor necesita elementos electrónicos los cuales controlen el motor, además de una interfaz con el usuario para encender, apagar, etc. Por lo cual se diseñará un circuito de control y potencia que cumpla con los requerimientos técnicos y de los operadores citados a continuación.

Requisitos:

- Fácil de operar

- Bajo mantenimiento
- Variar velocidad del motor de acuerdo a la velocidad del motor principal
- Sin cambio de sentido de giro
- Compacto
- Protección eléctrica a sobrecargas
- Paro de emergencia

Datos del motor:

- Corriente: 1.1 A
- Voltaje: 220 v
- Fases: 3

Como dato inicial para el diseño vamos a basarnos en la corriente máxima consumida por los elementos. En este caso solo tenemos 1 motor de tal manera que la corriente es:

Ecuación 32 Corriente Máxima Consumida

$$I_{max} = 1.25 * I_{motor}$$

$$I_{max} = 1.25 * 1.1 = 1,375 A$$

Como se observa en la Ecuación 32 nuestro sistema se debe referenciar a una corriente de 1,375 amperios. Por lo cual los elementos de control industrial utilizados deben tener características compatibles con esa intensidad de corriente.

A continuación, se procedió a diseñar los circuitos de control y potencia (ver Anexo 7) utilizando un programa CAD, para tener una interfaz con el usuario sencilla se decidió colocar 3 pulsadores (encendido, apagado, JOG) los cuales se encargan de encender, apagar y el movimiento a discreción del repartidor respectivamente. La interfaz también

cuenta con un indicador luminoso de color verde el cual se enciende cuando el sistema está funcionando.

En cuanto a requerimientos de funcionamiento cuenta, con un sistema de protección eléctrica a sobrecarga, un contactor para cerrar el circuito y 2 relés los cuales se encargan de desactivar el sistema en caso de emergencia o cuando se desea apagar el sistema desenclavando el contactor. Para el funcionamiento del paro de emergencia se utiliza las mismas señales de la máquina principal de tal manera que el botón de emergencia apaga todos los subsistemas incluyendo el repartidor.

4.2.3.1 Selección de Elementos

- Protección Eléctrica

Utilizando la Ecuación 32 se observa que la corriente máxima consumida por el circuito eléctrico es de 1,375 amperios, el voltaje nominal del circuito es de 220 v.

$I_n =$ Selección de fusibles normalizados

Corriente normalizada de fusibles (amperios)

2	4	6	10	16	20	25	35
40	50	63	80	100	125	160	200
250	315	400	425	500	630	800	1000

Figura 107. Corriente Nominal de Fusibles

Se utiliza un fusible de 2 amperios, siendo el valor comercial más cercano a la corriente máxima de trabajo.

$$I_{conductor} = \text{Corriente máxima conductor}$$

Para el circuito de control y potencia se utiliza un conductor número 14 AWG, el cual soporta una corriente máxima de 15 A.

Calibre A.W.G	Diámetro mm	Sección mm ²	Intensidad en amperios			
			Aire libre		3 conductores en tubo	
			TW	desnudo	TW	asbesto
0000	11.58	107.20	300	370	195	340
000	10.38	85.00	260	320	165	285
00	9.36	67.42	225	275	145	250
0	8.25	53.48	195	235	125	225
2	6.54	33.62	140	175	95	165
4	5.18	21.15	105	130	70	120
6	4.11	13.29	80	100	55	95
8	3.26	8.32	55	70	40	70
10	2.59	5.29	40	55	30	55
12	2.05	3.29	25	40	20	40
14	1.62	2.08	20	30	15	30
16	1.29	1.29	12	16	8	16
18	1.02	0.85	8	12	6	12

Figura 108. Selección Calibre Conductor
Fuente: (Área tecnología, 2017)

Ecuación 33 Selección de fusible

$$I_{max} \leq I_n \leq I_{conductor}$$

$$1,375 \leq 2 \leq 15$$

Como se observa en la Ecuación 33 el fusible de 2 amperios es adecuado para el circuito eléctrico.

- Contactor Primario y Relés

Como se mencionó previamente en la Ecuación 32, el valor máximo de corriente es de 1,375 A, y el voltaje de control utilizado en la máquina es de 220 v, por lo cual los contactores y relés deben cumplir con estas características.

El contactor seleccionado es de 2 amperios lo cual satisface la solicitud de 1,375 A, con bobina de 220 v, pero el proveedor no posee dicho elemento, por lo cual se procede a elegir el elemento con las características más cercanas siendo elegido un Contactor de 9 A con bobina de 220 v.

De igual manera los relés seleccionados son de 2 amperios con bobina de 220 v y 4 contactos. Pero el proveedor tampoco posee los elementos por lo cual se escogió el modelo de características más cercanas; relé de 6 amperios con bobina de 220 v y 4 contactos.

Se debe tomar en cuenta que en el mercado local no existe extensa variedad de elementos de control de baja corriente como los necesarios en el proyecto por lo cual se utilizan los elementos con las características más cercanas, lo cual genera un sobredimensionamiento.

- Variador de Frecuencia

Para la selección del variador de frecuencia se utilizó la potencia del motor y su voltaje de alimentación, siendo estos valores 0,25 HP y 220v. Por lo cual se solicitó dicho elemento, pero el proveedor no lo tiene en stock, por lo tanto, se escogió el variador de características más próximas; variador de frecuencia de entrada 220 v bifásica, salida 220 v trifásica y soporta motores de hasta 0,50 HP de potencia con lo cual cumple con la solicitud necesaria.

A continuación, la Tabla 38, muestra un listado de todos los elementos adquiridos para el control del sistema repartidor.

Tabla 38
Selección de equipos

Item	Cant	Descripción
1	1	Variador 0.5 hp 6sl3210-5bb13-7uv1 / sinamics v20
2	6	Bornera leg riel 4 mm ² 30a 10awg.
3	1	Base porta fusible 10x38mm 3 polos
4	3	Fusible 10 x 38 2 amp.
5	1	Contactador 9a 1no 3rt2016-1ap01 220v.
6	1	Luz piloto verde led 230vac 3su1106-6aa40-1aa0
7	1	Pulsador amarillo + 1no.anillo metal 3su1130-0ab30-1ba0 siemens
8	1	Pulsador verde + 1na. Anillo metal 3su1130-0ab40-1ba0 siemens
9	1	Pulsador rojo + 1nc. Anillo metal 3su1130-0ab20-1ca0 siemens
10	1	Relé aux. Enchuf 6a 4 conm.230vac lzx:pt570730
11	1	Socket/base fijación en rial 4 conm.siemens
12	1	Relé aux. 10a 3 conm. 230vac lzx:pt370730 siemens
13	1	Socket - base p fijación en riel 3 conm. Siemens
14	1	Gabinete metálico 40/40/20 cm

4.3 Rediseño del Subsistema de Control

4.3.2 Selección de Equipo

Para el control de la velocidad del motor es necesario un controlador que cumpla con dos características básicas, puesto que la entrada y la salida de este tienen que acoplarse a elementos presentes en la máquina.

La entrada del controlador debe soportar un rango de tensión de 23.4 a 46.7 mv puesto que el sensor inductivo acoplado al brazo tiene esa variación de voltaje, y la salida del controlador debe variar entre 0 y 10 v de tal manera que se alimente la entrada

análoga del variador y se varíe con ello la velocidad del motor. Dado que los controladores cumplen la función de procesar la señal de entrada, controlarla y generar una señal de salida, se pueden utilizar distintos tipos, aunque no sean diseñados específicamente para esa aplicación, en la fábrica se encuentran controladores de temperatura a disposición por lo cual se procede a caracterizarlos para su posible uso.

La entrada de los controladores se puede elegir para distintos tipos de sensores de temperatura como se observa en la Figura 109, los cuales cumplen con los rangos de variación de voltaje del sensor capacitivo, por ser el más común se utiliza la entrada para termopar tipo J. De igual manera existe el modelo BTC-9100 que cuenta con dos tipos de salida, relé de alarma y salida análoga variable 0-5v, 0-10v, 0-12v (Figura 110). De esta manera podemos concluir que el controlador BTC-9100 cumple con los requerimientos y puede ser instalado en la máquina.

Tipo	Materiales		Rangos	
	Conductor +	Conductor -	Temp. °C	Tensión
B	Platino + 30% Rodio	Platino + 6% Rodio	600 a 1820	1,792 a 13,82 mV
C	Tungsteno + 5% Rhenio	Tungsteno + 26% Rhenio	0 a 2316	0 a 37,079 mV
E	Niquel-Cromo (Chromel)	Cobre-Niquel (Constantán)	-250 a 1000	-9,719 a 76,37 mV
J	Hierro	Cobre-Niquel (Constantán)	-210 a 1200	-8,096 a 69,555 mV
K	Niquel-Cromo (Chromel)	Niquel Aluminio	-200 a 1372	-5,891 a 54,886 mV
L	Hierro	Cobre-Niquel (Constantán)	-200 a 900	-8,166 a 53,147 mV
N	Niquel-Cromo-Silicio (Nicrosil)	Niquel-Silicio-Magnesio (Nisil)	-200 a 1300	-3,990 a 47,514 mV
R	Platino + 13% Rodio	Platino	-20 a 1767	-0,101 a 21,089 mV
S	Platino + 10% Rodio	Platino	-20 a 1767	-0,103 a 18,682 mV
T	Cobre	Cobre-Niquel (Constantán)	-250 a 400	-6,181 a 20,873 mV

Figura 109. Comparación Tipos de Sensores de Temperatura
Fuente: (Universidad Nacional Experimental de Táchira, 2018)

<p>1.1.GENERAL El microprocesador incorpora dos displays de 4 leds brillantes y fáciles de leer, que indican el valor de proceso y el valor de consigna. La tecnología Fuzzy-logic permite a un proceso alcanzar un valor de consigna predeterminado en el tiempo más corto posible y con la mínima desviación durante la sintonización ó las perturbaciones externas</p> <p>Medidas</p> <p>BTC-9100 48x48 mm 1/16DIN BTC-7100 72x72 mm BTC-8100 48x96 mm 1/8 DIN BTC-4100 96x96 mm ¼ DIN</p> <p>Alimentación 11-26 VDC/VAC ó 90-264 VDC/VAC</p> <p>Incorporan de fábrica un relé de control de 2 A.</p> <p>La segunda salida puede usarse como control de frío (refrigeración) o como alarma.</p> <p>Ambas salidas pueden ser salida triac, 12V., corriente o voltaje para controlar un dispositivo externo Bajo pedido la tercera salida se pueden configurar seis tipos de alarma más un temporizador retardo conexión. Todos los controladores son programables para sondas Pt-100 y termopares J, K, T. E. B, R, S. N, L sin tener que modificar la unidad. La señal de entrada es digitalizada mediante un convertidor de 18-bit de analógico a digital. Su capacidad de muestreo permite que la unidad controle rápidamente los procesos</p>
--

Figura 110. Características BTC-9100

Fuente: (Bielco, 2018)

4.3.3 Selección Tipo de Controlador

En nuestro sistema como se mencionó anteriormente contamos con un brazo pivotante el cual se encarga de censar la tensión del cable con un movimiento oscilatorio, para que este brazo vuelva a la posición estable el carrete debe aumentar o disminuir la velocidad de arrollamiento, y al ser un proceso rápido es necesario que la reacción ante estímulos externos sea rápida y precisa por lo cual se procederá a seleccionar el tipo de controlador más apropiado para dicha aplicación.

Tabla 39

Selección tipo de controlador

Nombre	Aplicación
On-Off	Se utiliza en procesos donde se pueden realizar acciones de control positivas o negativas.
P	Se utiliza en procesos donde un error en estado estable es aceptable.

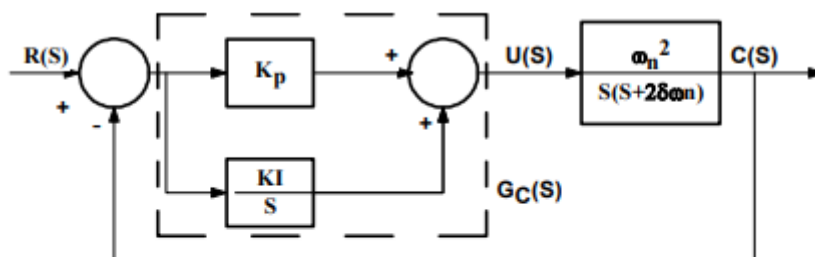
CONTINÚA

PI	Se utiliza en procesos donde en error en estado estable debe ser casi nulo y la dinámica del proceso es rápida.
PD	Se utiliza en procesos donde es necesario reducir el tiempo de respuesta manteniendo una estabilidad aceptable, pero ante la presencia altos niveles de ruido no es aconsejable utilizarla ya que amplifica el ruido.
PID	Procesos lentos donde casi no existe ruido y se desea aumentar la velocidad de reacción.

Fuente: (Departamento de control de Ingeniería Eléctrica, 2016)

Como podemos observar en la Tabla 39 el tipo de controlador recomendado para nuestra aplicación es un PI el cual tiene las siguientes características:

- El controlador PI mejora la respuesta en estado estable, de igual manera reduce el porcentaje de sobrepaso máximo y mejora el amortiguamiento.



$$u(t) = K_p e(t) + K_I \int e(t) dt$$

$$\frac{U(S)}{E(S)} = K_p + \frac{K_I}{S} = K_p \left(1 + \frac{K_I}{K_p S}\right) = \frac{K_p S + K_I}{S}$$

Figura 111. Lazo de Control PI

4.3.4 Selección de Método para Ajuste de Controlador

En cuanto al método de selección de controlador debemos considerar el entendimiento del proceso a controlar, de tal manera que, si se conoce el modelo

matemático del proceso, se puede emplear métodos analíticos, pero si el proceso es complejo y se dificulta la obtención de un modelo matemático, se debe utilizar métodos empíricos.

En este caso se procede a utilizar el método experimental de Ziegler-Nichols el cual sirve para encontrar los valores de K_p , K_i y K_d del controlador sin conocer las ecuaciones de la planta. Dicho método tiene dos variantes, en lazo abierto y lazo cerrado, al contar con la planta totalmente funcional con la respectiva retroalimentación procedemos a utilizar el método de Ziegler-Nichols a lazo cerrado de tal manera que se puede desarrollar un controlador en condiciones reales de funcionamiento.

4.3.5 Sintonización del Controlador

Para la sintonización se utilizará como referencia (Ogata, 2010).

Primero se colocan los valores de $K_p=0$, $T_i=inf$ y $T_d=0$, se coloca un set point bajo de tal manera que la velocidad de arrollamiento sea lenta y el tiempo de prueba se extienda lo suficiente para realizar la prueba correctamente.

A continuación, se eleva el valor de K_p hasta un valor en el cual se presenten oscilaciones sostenidas, dicho valor se lo conoce como K_{cr} . Se realizaron 5 pruebas positivas obteniendo los siguientes valores:

Tabla 40

Pruebas k_p variable, $t_i= inf$, $t_d=0$

# Prueba	K_{cr}	P_{cr} (s)
1	569	118
2	567	121
3	570	119
4	568	120

CONTINÚA

5	569	123
Promedio	568,6	120,2

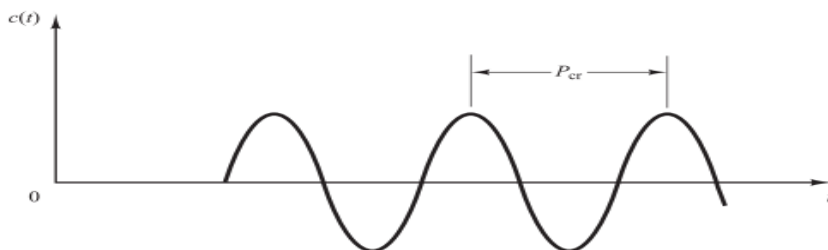


Figura 112. Oscilación Sostenida

Fuente: (Ogata, 2010)

Tipo de controlador	K_p	T_i	T_d
P	$0.5K_{cr}$	∞	0
PI	$0.45K_{cr}$	$\frac{1}{1.2} P_{cr}$	0
PID	$0.6K_{cr}$	$0.5P_{cr}$	$0.125P_{cr}$

Figura 113. Reglas de Sintonía Ziegler-Nichols

Fuente: (Ogata, 2010)

Como se dijo en la sección anterior se va a utilizar el controlador tipo PI con lo cual se utilizan las ecuaciones:

Ecuación 34 Control Proporcional

$$K_p = 0.45 * K_{cr}$$

$$K_p = 0.45 * 568,6 = 255,87 \cong 256$$

Ecuación 35 Control Integral

$$T_i = 0.83 * P_{cr}$$

$$T_i = 0.83 * 120,2 = 99,76 \cong 100 \text{ (s)}$$

Al aplicar dichos valores en el controlador se pudo observar que existe estabilidad en el sistema manteniendo la tensión constante, con una velocidad alta de reacción ante variaciones.

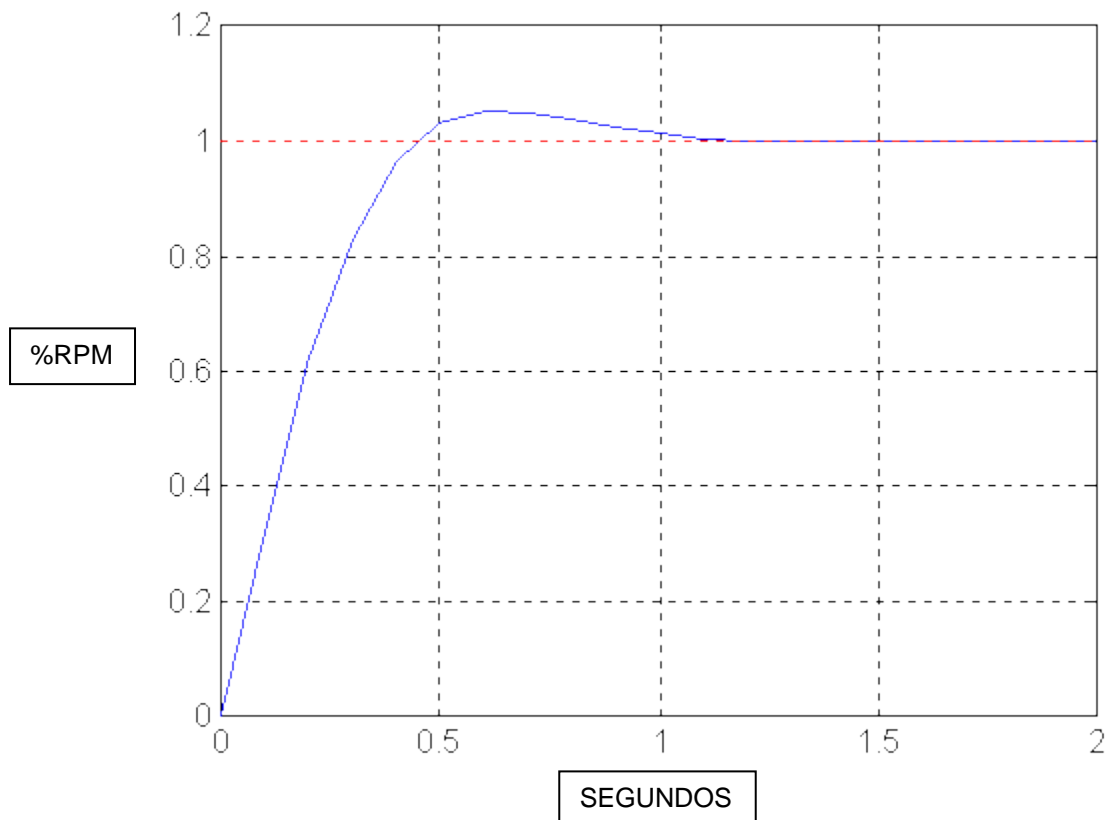


Figura 114. Gráfica de controlador PI

Como podemos observar en la Figura 114 el sobre paso es del 10% pero mediante pruebas se observa que el proceso lo soporta, con un tiempo de establecimiento de aproximadamente 1.2 segundo el cual es correcto para el funcionamiento de la máquina como bobinador del proceso de trefilado.

CAPÍTULO V

PRUEBAS Y RESULTADOS

5.1. Desarrollo del Protocolo de Pruebas

Con la finalidad de verificar el correcto funcionamiento de la máquina PF-1000M, se procede a realizar una serie de pruebas involucrando a cada uno de los sistemas de los cuales se encuentra conformada la máquina en cuestión:

5.1.1 Sistema Hidráulico

A continuación, se detalla una serie de medidas preventivas, como pasos previos a la ejecución del protocolo de pruebas.

1. Antes de iniciar el encendido de la máquina, se procederá a purgar todos los sistemas hidráulicos.
2. Verificar que los sistemas hidráulicos conformados en la máquina no se encuentren abiertos o expuestos de forma directa al polvo o ambientes con partículas sólidas dispersas en el aire.
3. Constatar que el nivel del líquido dentro del depósito hidráulico está dentro del rango.
4. En caso de existir algún fluido dentro del sistema hidráulico, verificar que el nuevo fluido a colocar sea compatible, sino es así, limpiar o vaciar el fluido de todo el sistema hidráulico.
5. Al momento de realizar un reemplazo de mangueras colocar un tapón en el extremo abierto evitando así desperdicios o derrames sobre la zona de trabajo.

6. Es recomendable realizar un análisis del fluido dentro del sistema hidráulico en un periodo de 1 año, para confirmar si este se encuentra en buen estado o presenta sustancias que lo hayan contaminado.
7. Revisar el filtro del sistema hidráulico para verificar la presencia de depósitos de goma, en caso de existir, se procederá a cambiar el filtro y también el fluido dentro del sistema.

1° Prueba Inicial

Se realizará como prueba inicial, el funcionamiento del sistema con una presión correspondiente a la mitad de la presión máxima de servicio.

La presión de prueba se mantendrá por un tiempo de 30 minutos y un descanso de 10 minutos, luego se repetirá el proceso una vez más.

Durante el tiempo que el sistema se encuentre encendido, visualizar la presión en la que se encuentra, considerando que la misma no debe descender 0.1 MPa, esto se realizará con el fin de presenciar alguna anomalía como fugas del fluido.

2° Prueba Principal

Luego de concluir con la prueba inicial, se procede a encender y a suministrar fluido al sistema durante un tiempo de 2 horas.

Observar que la presión del sistema sea la mitad de la presión máxima de servicio, cuya presión no debe descender en más de 0.05MPa.

3° Prueba Final

Concluida la prueba inicial y principal, se procede a mantener una presión de 0.05MPa y 1MPa, alternativamente en un tiempo de 5, 10, 30, 60 y 120 minutos de acuerdo al orden presentado en el formato (ver Tabla 41).

Observar si se producen fisuras dentro sistema de tuberías o mangueras, evitando así que alguna parte de la instalación quede sin el suministro del fluido.

Para las respectivas mediciones en cada una de las pruebas se utilizará el manómetro dispuesto sobre el depósito del fluido, conjuntamente se utilizará un formato el cual se respaldará con las firmas de los responsables, lugar y fecha de la realización de las pruebas.

Tabla 41
Protocolo de pruebas hidráulicas

Protocolo de Prueba:	
Prueba Inicial	
Presión máx. a la mitad	4 MPa
Caída de presión tras 30 minutos:	0.03 Mpa
	(máx. 0.1 MPa)
Resultado de la prueba inicial:	APROBADO
Prueba Principal	
Presión de Servicio:	4 MPa
	(resultado de la prueba inicial)
Caída de la presión tras 2 horas:	0.03 MPa
	(máx. 0.05 bares)
Resultado de la prueba Principal:	APROBADO
Prueba Final	
Presión de servicio 1 Mpa durante 10 min	Pérdidas en MPa: 0.03

CONTINÚA

Presión de servicio 0.05 Mpa durante 5 min	Pérdidas en MPa: 0.03
Presión de servicio 1 Mpa durante 1 hora	Pérdidas en MPa: 0.03
Presión de servicio 0.05 Mpa durante 30 min	Pérdidas en MPa: 0.03
Presión de servicio 1 Mpa durante 2 hora	Pérdidas en MPa: 0.03
Presión de servicio 0.05 Mpa durante 30 min	Pérdidas en MPa: 0.03
Resultado de la prueba final:	APROBADO
Por encargo de:	INCOREA CABLES

5.1.2 Sistema Neumático

Previo al encendido del sistema neumático, se tomará en cuenta una serie de protocolos con el fin de proteger la vida humana y en consecuencia a los equipos involucrados:

1. No aplicar directamente sobre una persona aire comprimido a una presión de 1.5 bar, esto puede provocar lesiones graves.
2. No utilizar el aire comprimido para la limpieza de partículas de polvo en la piel o en prendas de vestir.
3. Al momento de realizar limpieza de una zona de trabajo usando aire comprimido, verificar que la presión sea menor de 0.03 Mpa, además se utilizará el equipo de protección individual correctamente, en especial la protección para los ojos y/o para el rostro.
4. Utilizar tapones para los oídos, evitando problemas sobre el sistema auditivo en caso de existir algún tipo de explosión.

5. En caso de realizar una instalación o cambio de manguera, verificar que el suministro de aire comprimido se encuentre apagado dentro del sistema neumático.
6. Verificar que todas las mangueras del sistema estén sujetas en ambos extremos de forma segura, caso contrario sujetar el extremo abierto de la manguera, evitando así un efecto latigazo al momento de suministrar de aire comprimido al sistema, evitando accidentes. (Marcelo, 2010)
7. Comprobar que el aire comprimido a utilizarse dentro de una prueba neumática sea un gas seco y libre de aceite.
8. En caso de soltarse una manguera mientras el sistema se encuentra bajo presión, inmediatamente proceder a cortar la alimentación del sistema. (Festo, 2012)

1° Prueba Inicial

Establecer la zona de trabajo en la que se instalará el sistema neumático o se realizará la prueba de este, luego conectar el sistema neumático al compresor y proporcionarlo de aire comprimido.

Se realiza una prueba de presión, para lo cual se suministra al sistema de aire comprimido con una presión de 0.05MPa y se verifica un descenso de esta dentro del sistema.

2° Prueba Final

Se procede a incrementar la presión en razón de 0.10MPa hasta alcanzar la presión de 0.5MPa, se mantendrá esa cantidad de presión durante 10 minutos, en conjunto se

realiza una inspección visual en el manómetro de la unidad de mantenimiento verificando los valores establecidos.

1. Luego se incrementa la presión en razón de 0.10 MPa hasta llegar al valor de la capacidad de operación. Y se mantendrá dicha presión por 2 horas.
2. Si no existe ninguna anomalía, se procede a regular el sistema a una presión de 0.02MPa, verificando que el cilindro neumático se disponga en sentido de avance y por lo tanto el mecanismo de brazo con polea que gira en torno a la rueda excéntrica se coloque en posición inferior.
3. Aplicar una fuerza en sentido contrario a la dirección en la que se encuentra el brazo del mecanismo, dicha fuerza solamente será ejercida con la mano del operador, esto se realizará con el fin de comprobar que la presión que se encuentra en el sistema puede ser contrarrestada con la presión ejercida por el alambre a bobinar.

Tabla 42
Protocolo de pruebas neumáticas

Protocolo de Prueba:	
Prueba Inicial	
Conexión del sistema al compresor	SI
Presión de 0.05MPa	SI
Valor de descenso de Presión	0.02 MPa
	(máx. 0.1 MPa)
Prueba Final	
Presión de prueba	Valor de descenso de Presión
0.10 Mpa	0.02 Mpa
0.20 MPa	0.02 MPa

CONTINÚA

0.30 Mpa	0.03 MPa
0.40 Mpa	0.03 MPa
0.50 Mpa (10 min)	0.03 MPa
0.60 Mpa	0.03 Mpa
0.70 Mpa	0.04 Mpa
0.80 Mpa	0.04 Mpa
0.90 Mpa	0.04 MPa
1.00 Mpa (120 min)	0.04 Mpa
Por encargo de:	INCOREA CABLES

5.1.3 Sistema Mecánico

Previo a la instalación, montaje, mantenimiento o pruebas de un sistema, considerar las reglas de gestión preventiva frente a riesgos mecánicos:

1. Adquirir los equipos o herramientas necesarias para la instalación, montaje, mantenimiento o pruebas dentro del sistema mecánico que reúnan las garantías de seguridad de su fabricación.
2. Mantener el área de trabajo limpia y despejada, a su vez hacer uso de barreras para delimitar la zona.
3. Informar al equipo de trabajo y colaboradores el tipo de acción a realizar en la máquina, evitando posibles accidentes o atrapamientos por falta de comunicación entre los integrantes de trabajo.
4. Utilizar resguardos y protecciones en de las máquinas, dentro de partes en movimientos, calientes y en partes que puedan proyectar sólidos.

5. Hacer uso del equipo de protección individual, puesto que se encuentran diseñados para evitar cortes e impactos. (Universidad Politécnica de Madrid, 2006)

1° Prueba Inicial

Se efectúa como prueba inicial una evaluación de las actividades correspondientes al funcionamiento del sistema mecánico, es decir del sistema repartidor de cable y del sistema de sujeción del carrete. Para lo cual se enciende el equipo, después de 5 minutos se procede a ejecutar cada una de las actividades descritas dentro del formato de protocolo de pruebas de este sistema (ver Tabla 43).

2° Prueba Final

Como prueba final, se realiza una evaluación de posibles fallas, para lo cual se ejecuta el proceso de bobinado de cable durante un tiempo de 5 minutos; seguido se detiene el sistema por un tiempo de 1 minuto y nuevamente se ejecuta el proceso secuencialmente, esto durante las dos horas después de culminar la prueba inicial. Concluida las dos horas se evalúa los parámetros definidos dentro de la Tabla 43.

Tabla 43

Protocolo de pruebas mecánicas

1° Prueba Inicial		
EQUIPAMIENTO	ESTADO	FUNCIÓN
Recorrido Completo del Tornillo de Potencia Izquierdo	OK	OK
Recorrido Completo del Tornillo de Potencia Derecho	OK	OK

CONTINÚA

Recorrido completo en dirección Izquierda del Sistema Repartidor	OK	OK
Recorrido completo en dirección Derecha del Sistema Repartidor	OK	OK
Activación del Sistema de Frenado	OK	OK
Lubricación del Caja Reductora NMRV 100323.	OK	OK
Lubricación del sistema de transmisión del motor del Brazo de Sujeción Izquierdo	OK	OK
Lubricación del sistema de transmisión del motor del Brazo de Sujeción Derecho	OK	OK
Lubricación del sistema de transmisión del motor del Sistema Repartidor	OK	OK
2° Prueba Final		
VERIFICACIÓN DE FALLAS EN EL EQUIPO	SI	NO
Ruido y Vibración dentro de la Caja Reductora NMRV 100323.		X
Ruido y Vibración en el Brazo de Sujeción Izquierdo		X
Ruido y Vibración en el Brazo de Sujeción Derecho		X
Impacto en la estructura base del Brazo de Sujeción Izquierdo		X
Impacto en la estructura base del Brazo de Sujeción Derecho		X
Recalentamiento de motor del Brazo de Sujeción Izquierdo		X
Recalentamiento de motor del Brazo de Sujeción Derecho		X
Recalentamiento de motor del Sistema Repartidor		X
Recalentamiento de la Caja Reductora NMRV 100323.		X
Fallas por Desgaste en el Sistema de Transmisión en el Brazo de Sujeción Izquierdo		X

CONTINÚA

Fallas por Desgaste en el Sistema de Transmisión en el Brazo de Sujeción Derecho	X
Fallas por Desgaste en el Sistema de Transmisión en el sistema Repartidor	X
Por encargo de: INCOREA CABLES	

5.1.4 Sistema Eléctrico y de Control

Previo a la realización de una prueba en un sistema energizado se consideran las siguientes medidas preventivas:

1. Asegurarse físicamente que los interruptores del equipo se encuentren en posición de apagado des energizando el sistema.
2. Verificar que el equipo tenga una conexión correcta a tierra.
3. Previo a realizar una instalación, montaje o mantenimiento dentro del equipo, preparar las correspondientes herramientas a utilizar para la ejecución de las actividades preventivas y correctivas.
4. Delimitar el área de trabajo para impedir el paso de terceros a las pruebas a realizarse dentro del equipo.
5. Verificar que los terminales de prueba se encuentren en buen estado y sean los apropiados para las mediciones.
6. Asegurarse de aplicar los voltajes de prueba dentro de la capacidad operacional destinada a cada elemento del equipo.
7. Antes y durante las pruebas de funcionamiento del equipo seguir las medidas de seguridad y utilizar el correspondiente equipo de protección individual.

1° Prueba Principal

Dentro de todo sistema eléctrico es de primordial importancia verificar que el equipo se encuentre óptimas condiciones, con la finalidad de que este no presente un cortocircuito o fallas a tierra, para lo cual se realiza como prueba básica la medición de continuidad en cables, para lo cual procedemos a utilizar el multímetro y medir continuidad en la alimentación del tablero de control y en cada uno de los elementos que lo conforman, verificando que los cables dispongan de ambos extremos conectados a los elementos según los planos eléctricos realizados.

2° Prueba Final

En esta etapa del protocolo de pruebas se procede a evaluar el estado y la funcionalidad de los elementos que conforman la parte eléctrica de control, para lo cual se utilizará el listado correspondiente a este ítem. Paralelamente se realizará la medición y registro de los valores de operación del elemento para ser comparados con el valor teórico, ver Tabla 44, Tabla 45 y Tabla 46.

Tabla 44

Protocolo de prueba inicial del sistema eléctrico y de control

1° Prueba Inicial	
EQUIPAMIENTO	Continuidad
Válvula solenoide	Ok
Motor 440 VAC	Ok
Motor 220 VAC	Ok
Freno Electromagnético	Ok
Contactador Magnético Shihlin s-p21	Ok
Contactador Magnético 1 Shihlin s-p11	Ok
Contactador Magnético 2 Shihlin s-p11	Ok

CONTINÚA

Contactador Magnético 3 Shihlin s-p11	Ok
Contactador Magnético 4 Shihlin s-p11	Ok
Contactador Magnético 5 Shihlin s-p11	Ok
Relé Térmico 1 Shihlin TH-p12	Ok
Relé Térmico 2 Shihlin TH-p12	Ok
Relé de Sobrecarga LRD 07	Ok
Relé 1 OMRON	Ok
Relé 2 OMRON	Ok
Relé 3 OMRON	Ok
Relé 4 OMRON	Ok
Relé 1 STON	Ok
Relé 2 STON	Ok
Relé 3 STON	Ok
Relé 4 STON	Ok
Relé 5 STON	Ok
Relé 6 STON	Ok
Relé 7 STON	Ok
Timer relé ANLY	Ok
Fusible 1	Ok
Fusible 2	Ok
Fusible 3	Ok
Relé Auxiliar DRM	Ok
Breaker de 3 fases	Ok
Palanca de Mandos Izquierda	Ok
Palanca de Mandos Derecha	Ok
Bomba Hidráulica	Ok

CONTINÚA

Variador de Frecuencia	Ok
Transformador	Ok
Controlador PID	Ok

Tabla 45*Protocolo de segunda prueba del sistema eléctrico y de control*

Equipamiento	Estado	Función
Válvula solenoide	Ok	Ok
Motor 440 VAC	Ok	Ok
Motor 220 VAC	Ok	Ok
Freno Electromagnético	Ok	Ok
Contactador Magnético Shihlin s-p21	Ok	Ok
Contactador Magnético 1 Shihlin s-p11	Ok	Ok
Contactador Magnético 2 Shihlin s-p11	Ok	Ok
Contactador Magnético 3 Shihlin s-p11	Ok	Ok
Contactador Magnético 4 Shihlin s-p11	Ok	Ok
Contactador Magnético 5 Shihlin s-p11	Ok	Ok
Relé Térmico 1 Shihlin TH-p12	Ok	Ok
Relé Térmico 2 Shihlin TH-p12	Ok	Ok
Rele de Sobrecarga LRD 07	Ok	Ok
Relé 1 OMRON	Ok	Ok
Relé 2 OMRON	Ok	Ok
Relé 3 OMRON	Ok	Ok
Relé 4 OMRON	Ok	Ok
Relé 1 STON	Ok	Ok
Relé 2 STON	Ok	Ok
Relé 3 STON	Ok	Ok

CONTINÚA

Relé 4 STON	Ok	Ok
Relé 5 STON	Ok	Ok
Relé 6 STON	Ok	Ok
Relé 7 STON	Ok	Ok
Timer relé ANLY	Ok	Ok
Fusible 1	Ok	Ok
Fusible 2	Ok	Ok
Fusible 3	Ok	Ok
Relé Auxiliar DRM	Ok	Ok
Breaker de 3 fases	Ok	Ok
Palanca de Mandos Izquierda	Ok	Ok
Palanca de Mandos Derecha	Ok	Ok
Bomba Hidráulica	Ok	Ok
Variador de Frecuencia	Ok	Ok
Transformador	Ok	Ok
Controlador PID	Ok	Ok

Tabla 46

Protocolo de prueba final del sistema eléctrico y de control

Equipamiento	Valor Medido	Valor Teórico	Error Absoluto
Válvula solenoide	225 v	220 v	2,27 %
Motor 440 VAC	444 v	440 v	0,9 %
Motor 220 VAC	225 v	220 v	2,27 %
Freno Electromagnético	23,5 v	24 v	2 %
Contactador Magnético Shihlin	225 v	220 v	2,27 %
s-p21			

CONTINÚA

Contactores Magnéticos	225 v	220 v	2,27 %
Shihlin s-p11			
Relés Térmicos Shihlin TH	225 v	220 v	2,27 %
p12			
Rele de Sobrecarga LRD 07	225 v	220 v	2,27 %
Relés OMRON	225 v	220 v	2,27 %
Relés STON	225 v	220 v	2,27 %
Timer relé ANLY	3,3 s	3.2 s	3 %
Relé Auxiliar DRM	225 v	220 v	2,27 %
Variador de Frecuencia	223 v	220 v	1,36%
Transformador	225 v	220 v	2,27 %
Controlador PID	10 v	9,5 v	5 %
Por encargo de:	INCOREA	CABLES	

5.2. Pruebas y Resultados del Sistema Mecatrónico General

Finalmente, una vez implementado todos los sistemas mecánicos, hidráulicos, neumático, eléctricos y de control, se pone a prueba de manera funcional los subsistemas en conjunto, evaluando su funcionamiento mediante un listado de las actividades que debe cumplir el equipo como tal, además de ser evaluada la parte externa del mismo:

Tabla 47

Protocolo de pruebas del sistema mecatrónico general

Pruebas Efectuadas	Resultado	Observación
Desplazamiento del Brazo de Sujeción Izquierdo	Ok	N/A
Desplazamiento del Brazo de Sujeción Derecho	Ok	N/A
Sujeción o Agarre Completo del Carrete	Ok	N/A

CONTINÚA

Elevación del Carrete	Ok	N/A
Desplazamiento del Repartidor	Ok	N/A
Operación mecánica de los equipos	Ok	N/A
Parada del sistema y paro de emergencia del movimiento del Carrete	Ok	N/A
Comprobación de Ajustes de Pernos del Sistema Repartidor	Ok	N/A
Continuidad del cableado	Ok	N/A
Funcionalidad del Circuito de Control	Ok	N/A
Señalización Visual	Ok	N/A
Simulación del Funcionamiento del Tablero de Control	Ok	N/A
Verificación del acabado de pintura del tablero de control	Ok	N/A
Cierre de Puertas del Tablero de Control	Ok	N/A
Por encargo de: INCOREA CABLES		

Concluido el protocolo de pruebas en conjunto de la máquina PF-1000M, se puede describir el funcionamiento de cada uno de sus sistemas involucrados exponiendo lo siguiente:

- Al accionar la parte del sistema eléctrico o de fuerza, este permite controlar y maniobrar en forma correcta la velocidad del motor según las necesidades del carrete a manipularse
- En conjunto se maniobra los mandos de control existentes, confirmando cada uno de los movimientos que se realizan dentro de la máquina bobinadora, es decir, encendido del motor principal para ejecutar el bobinado, cambios de velocidad en

el bobinado, cambio de sentido de giro del motor, paro de emergencia, desplazamiento de los brazos de sujeción, pudiendo ser este el desplazamiento de solo un brazo o de ambos y elevación de los mismos (ver Figura 115).



Figura 115. Funcionamiento de Controles (izquierda) y (derecha)

- Los sistemas mecánicos involucrados en el sistema de sujeción del carrete (ver Figura 116), como el sistema de tornillos de potencia encargados de la sujeción del carrete, durante el recorrido de las tuercas presenta un movimiento uniforme, sin presencia de vibración o golpes.

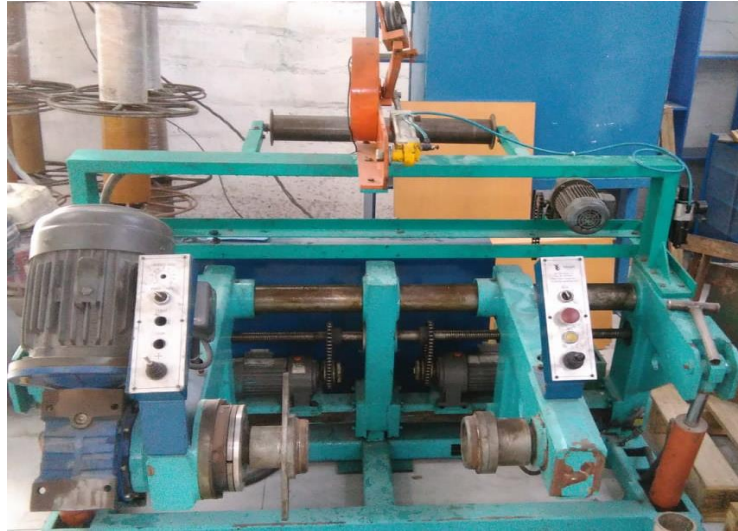


Figura 116. Sistema de Sujeción

- De igual forma, al momento de ejecutar los elementos involucrados dentro del sistema hidráulico, se observa el desempeño del sistema de elevadores (ver Figura 117) considerando que el trabajo realizado por la bomba hidráulico es óptimo, permitiendo generar la presión necesaria para elevar los brazos de sujeción, pudiendo estar al vacío o con carga.



Figura 117. Sistema de Elevadores; Posición Arriba y Abajo

Una vez comprobado cada uno de los sistemas, se pone a prueba de manera funcional todo el sistema en conjunto (ver Figura 118), evidenciando la secuencia que se realiza durante el proceso de bobinado, en donde primero se energiza el sistema, mediante los mandos de control se manipula los brazos de sujeción para el montaje del carrete bobinado metálico, luego se coloca en el extremo previo a la entrada del alambre un elevador de carrete cargado con una bobina, a continuación se da una línea guía al alambre para montarlo en el carrete bobinador.

Posteriormente se verifica la presión dentro del sistema neumático para el correcto funcionamiento de la rueda excéntrica y en consecuencia tensionar al alambre durante el proceso de enrollado, mediante un pulsador se da inicio al proceso, es decir el carrete bobinador metálico comienza a ser elevado por un sistema hidráulico a una posición en donde los brazos de sujeción se encuentren superior al nivel del suelo.

Manipulando una perilla se establece el rango de velocidad deseado y en consecuencia el carrete comienza a girar. Simultáneamente se enciende del tablero de control el motor que controla un sistema repartidor de cable, el cual garantiza que el alambre se distribuya en todo el cuerpo del carrete evitando que el alambre se superponga y por lo tanto evitando deformaciones. Una vez culminado el proceso de enrollado, como prueba de seguridad se activa el paro de emergencia, el cual utiliza un freno electromagnético haciendo que el rollo en cuestión se detenga instantáneamente, cumpliendo así con el proceso de pruebas de funcionamiento de todo el sistema de bobinado.



Figura 118. Sistema Funcional en Conjunto

Finalmente, la máquina Pay-Off modelo PF-1000M, al ser montada al final de la línea de trefilado trabaja a una velocidad lineal de 14 m/s, permitiendo maniobrar carretes de 90 cm de diámetro externo y 30 cm de tambor para realizar el bobinado del Aluminio 1350 de diámetro de 3.37mm; necesario para la elaboración de cable ACSR 1/0.

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

Mediante la implementación de diseño concurrente se repotenció satisfactoriamente la máquina PF-1000M. El proceso de ingeniería inversa analizó a detalle elementos de la máquina para comprender su funcionamiento y corregir fallas en ellos, también se rediseñó parte del sistema mecánico implementando un sistema repartidor de cable para arrollar el cable de manera ordenada y por último se diseñó un sistema de control para que la máquina pueda trabajar de manera autónoma manteniendo una tensión constante en el cable producido dentro de la línea de trefilado de cable de aluminio.

Se determinó que existen tres procesos de funcionamiento principales en la máquina, el electrónico, mecánico y control los cuales se dividen en subsistemas como se detalla en el capítulo 3 sección 3.1, dichos subsistemas son: hidráulico, neumático, mecánico, eléctrico y de control. El análisis del trabajo mancomunado de dichos subsistemas tienen como resultado la determinación de los subprocesos de la máquina (apertura y cierre de los brazos para alojar el carrete, elevación y descenso del carrete para carga y descarga, giro de motor para arrollamiento del cable, disminución instantánea de velocidad del carrete en caso de emergencia mediante un freno magnético), y el análisis de estos subprocesos dio como resultado la determinación correcta del proceso principal (control manual o automático del arrollamiento del cable).

El conocer los sistemas y procesos de la máquina permitió identificar los componentes de cada subsistema necesarios para cumplir con los subprocesos y proceso mencionados. De tal manera que se pudo realizar un levantamiento de necesidades de elementos faltantes basándonos en las solicitudes de cada subproceso y proceso. Estas solicitudes sirvieron como referencia para diseño y dimensionamiento de dichos componentes, que también debían ser compatibles con los elementos ya presentes en la máquina.

Se implementó con éxito un sistema bobinador (repartidor) de cable en el carrete el cual cuenta con un control de velocidad asociado a la velocidad principal de la máquina de tal manera que el paso del repartidor se mantenga constante sin importar la velocidad a la cual la máquina trabaje, esto asegura que el cable se enrolle en el carrete de manera uniforme evitando problemas al desenrollarlo en procesos siguientes. De igual manera el repartidor se acopla a diferentes diámetros de cables a producir mediante rodillos gemelos que se pueden abrir o cerrar a conveniencia del operador, con lo cual se asegura el no rayar el cable manteniendo la calidad del mismo.

Se realizó la puesta en marcha de la máquina correctamente, pues se observó que cumple con los requerimientos del proceso y subprocesos mencionados anteriormente. Se avala su funcionamiento en el campo industrial mediante las pruebas realizadas en el capítulo 5, donde se ensaya cada subsistema mediante un protocolo de pruebas solicitado desarrollado y aprobado por la empresa INCOREA CABLES. Este protocolo pone a prueba los elementos principales de cada subsistema trabajando en conjunto con

los elementos secundarios, y realiza una prueba global de los subsistemas trabajando en conjunto. La máquina PF-1000M aprobó dichas pruebas.

6.2. Recomendaciones

Previo a la manipulación de una máquina o equipo, se recomienda leer los manuales de operación proporcionados al momento de adquirir el equipo y verificar si este no dispone de un protocolo de pruebas.

Se recomienda generar un cronograma dentro de la empresa que permita establecer fechas para realizar un plan de mantenimiento preventivo de las partes que se encuentran sometidas a un mayor desgaste y expuestas a un ambiente con partículas dañinas.

Previo a la manipulación del equipo, asesorar al personal explicando detalladamente la correcta manipulación de la misma, evitando posibles accidentes.

Se recomienda al personal utilizar el equipo de protección individual, considerando lo siguiente; de forma obligatoria se tiene que usar las botas de seguridad y la protección visual, de forma esporádica se usará guantes con el propósito de cargar y descargar el carrete dentro del sistema de bobinado.

Previo a realizar la manipulación de la máquina, se debe desconectar la máquina de la fuente de energía verificando la ausencia de tensión, señalizando con una etiqueta que

indique la acción a ejecutarse y el personal encargado, señalar la zona de trabajo y por último informar al personal de la acción a realizarse.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguillon, P. A. (2003). *Selección Correcta de un aceite industrial*. Medellín. Área tecnología. (6 de Diciembre de 2017). *Área tecnología*. Obtenido de <http://www.areatecnologia.com/el%20motor%20electrico.htm>
- Automatización Industrial. (12 de 03 de 2018). *Automatización Industrial*. Obtenido de <http://industrial-automatica.blogspot.com/2010/09/valvulas-de-bloqueo.html>
- Beta Professional Hand tools. (13 de Diciembre de 2017). *Beta*. Obtenido de http://www.beta-tools.com/catalog/articles/view/1919L/__lang_en/__catlang_es/__catalog_beta/_filters_
- Bielco. (21 de Enero de 2018). *Bielco*. Obtenido de http://www.bielco.com/sites/default/files/archivos-productos/btc9100_e.pdf
- Bosch Rexroth. (16 de Diciembre de 2017). *Olagorta*. Obtenido de <http://www.olagorta.com/PGH-2X.pdf>
- Creus Solé, A. (2011). *Neumática e Hidráulica* (Segunda ed.). Barcelona: Marcombo. Recuperado el 18 de Diciembre de 2017, de https://books.google.com.ec/books?id=cxtrrbhr9byc&printsec=frontcover&dq=sistema+neumatico&hl=es-419&sa=x&ved=0ahukewjg4e_spjbyahwdtsykhzqidoeq6aeikjab#v=onepage&q&f=false
- Departamento de control de Ingeniería Eléctrica. (14 de Noviembre de 2016). Controladores clásicos. México D.F., México. Obtenido de <https://prezi.com/x-x9hxi-w0cm/criterios-para-la-seleccion-de-un-controlador/>
- Ecured. (13 de Diciembre de 2017). *Ecured*. Obtenido de https://www.ecured.cu/Ley_de_Stokes
- Festo. (Junio de 2012). *Festo Didactic*. Obtenido de http://www.festo-didactic.com/ov3/media/customers/1100/567267_leseprobe_es.pdf
- Gil, A. (7 de Diciembre de 2017). *Universidad Miguel Hernández*. Obtenido de <http://isa.umh.es/asignaturas/asc/temasautomatas/Tema1.pdf>

- Groover, & P., M. (1997). *Fundamentos de manufactura moderna*. Ciudad de México: Pearson prentice hall.
- Hervás, I. V. (2017). *Elementos de máquina y sistemas*. México DF.
- Incorea cables. (2014). Recuperado el 10 de Noviembre de 2017, de <http://www.incoreacables.com/productos.html>
- Ingemecánica. (6 de Diciembre de 2017). *Ingemecánica*. Obtenido de <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn212.html>
- Marcelo, C. (31 de Marzo de 2010). *Marcelo Cassani's Blog*. Obtenido de <https://marcelocassani.wordpress.com/2010/03/31/reglas-de-seguridad-en-uso-de-aire-comprimido/>
- Mas voltaje. (2017). Recuperado el 10 de Noviembre de 2017, de <https://masvoltaje.com/blog/tipos-de-cables-electricos-que-existen-n12>
- MG industrial. (19 de Diciembre de 2017). *Slide Share*. Obtenido de <https://www.slideshare.net/Danielnobregao/transmision-de-potencia-con-cadenas>
- Ningbo Xinchao Automation Component. (2011). Obtenido de <http://www.xcpcpneumatic.com/SI-Series-standard-cylinder.html>
- Nisbett, R. G. (2008). *Diseño de elementos*. México D.F: Mcgraw hill.
- Ogata, K. (2010). Ingeniería de control moderna. En K. Ogata, *Ingeniería de control moderna* (págs. 582-589). Madrid: Pearson Educación.
- Siemens. (6 de Diciembre de 2017). *Siemens*. Obtenido de <http://w3.siemens.com/mcms/mc-drives/en/low-voltage-inverter/sinamics-v20/pages/sinamics-v20-portlet.aspx>
- Tecnología y técnica. (6 de Diciembre de 2012). *Educación técnica*. Obtenido de http://www.tecnologia-tecnica.com.ar/index_archivos/Page4697.htm
- Unidad profesional Azcapotzalco. (11 de Diciembre de 2017). *Instituto superior de ingeniería mecánica y eléctrica*. Obtenido de <http://tesis.ipn.mx/jspui/bitstream/123456789/6844/1/calculoseleccion.pdf>
- Universidad Nacional Experimental de Táchira. (21 de Enero de 2018). *Unet*. Obtenido de <http://www.unet.edu.ve/~ielectro/Sensores%20de%20Temperatura.htm>

Universidad Politécnica de Madrid. (Noviembre de 2006). *Universidad Politécnica de Madrid*. Obtenido de

<http://www.upm.es/sfs/rectorado/gerencia/prevencion%20de%20riesgos%20laborales/informacion%20sobre%20prevencion%20de%20riesgos%20laborales/manuales/folleto%20laboratorios%20mec%20a1nicos%2017nov2006.pdf>

Yessjet. (2015). *Yessjet*. Recuperado el 10 de Noviembre de 2017, de <http://en.yessjet.com/pay/02.shtml>

Yessjet. (11 de Diciembre de 2017). *Yessjet*. Obtenido de <http://en.yessjet.com/pay/02.shtml>

Young, H., & Freedman, R. (2009). *Física universitaria* (Vol. I). México DF: pearson educación.