



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y
CONTROL

PROYECTO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO ELECTRÓNICO, AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL

AUTORES: ABRIL AGUILAR MARCO FREDDY

LEMA VINUEZA EVELYN GABRIELA

TEMA: AUTOMATIZACIÓN DE UNA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE
BOBINADO DE FLEJE TIPO PP EN EL ÁREA DE EMPAQUE PARA UN
SISTEMA EXTRUDER #1 DE EXTRUSIÓN DE PLÁSTICO EN LA
EMPRESA CODIEMPAQUES DEL ECUADOR CIA. LTDA.

DIRECTOR: ING. HUGO ORTIZ

CODIRECTOR: ING. VÍCTOR PROAÑO

SANGOLQUÍ, ENERO 2015

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ECUADOR - ESPE

**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA,
AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL**

CERTIFICADO

Certifico que el presente Proyecto de Fin de Carrera titulado: “AUTOMATIZACIÓN DE UNA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE BOBINADO DE FLEJE TIPO PP EN EL ÁREA DE EMPAQUE PARA UN SISTEMA EXTRUDER # 1 DE EXTRUCCIÓN DE PLÁSTICO EN LA EMPRESA CODIEMPAQUES DEL ECUADOR CIA. LTDA.”, realizado por: Sr. Marco Freddy Abril Aguilar y la Srta. Evelyn Gabriela Lema Vinueza como requisito para la obtención del título en INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL, ha sido guiado y revisado periódicamente bajo nuestra dirección.

Sangolquí, Enero del 2015

Ing. Hugo Ortiz.

DIRECTOR

Ing. Víctor Proaño

CODIRECTOR

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE

**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA,
AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL**

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

DECLARAMOS QUE:

El proyecto de grado denominado “AUTOMATIZACIÓN DE UNA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE BOBINADO DE FLEJE TIPO PP EN EL ÁREA DE EMPAQUE PARA UN SISTEMA EXTRUDER # 1 DE EXTRUCCIÓN DE PLÁSTICO EN LA EMPRESA CODIEMPAQUES DEL ECUADOR CIA. LTDA.”, ha sido desarrollada en base a una investigación exhaustiva, respetando los derechos intelectuales de terceros, conforme las citas que constan el pie de las páginas correspondiente, cuyas fuentes se incorporan en la biografía.

Consecuentemente este trabajo es de nuestra autoría. En virtud de esta declaración, nos responsabilizamos del contenido, veracidad y alcance científico del proyecto de grado en mención.

Sangolquí, Enero del 2015

Marco Freddy Abril Aguilar

Evelyn Gabriela Lema Vinuesa

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y

CONTROL

AUTORIZACIÓN

Nosotros, Abril Aguilar Marco Freddy y Evelyn Gabriela Lema Vinueza

Autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE la publicación, en la biblioteca virtual de la Institución del trabajo “AUTOMATIZACIÓN DE UNA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE BOBINADO DE FLEJE TIPO PP EN EL ÁREA DE EMPAQUE PARA UN SISTEMA EXTRUDER # 1 DE EXTRUCCIÓN DE PLÁSTICO EN LA EMPRESA CODIEMPAQUES DEL ECUADOR CIA. LTDA.”, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

Sangolquí, Enero del 2015

Abril Aguilar Marco Freddy

Lema Vinueza Evelyn Gabriela

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a mis dos mamitas **Isabel Aguilar** por todo el esfuerzo y dedicación para sacarme adelante en la capital y a mi abuelita **Consuelo Ambi** por cada granito de arena apilado en mi vida en todo momento, a mi hermanita **Karen Arévalo**.

A mi querida novia Evelyn Lema por su amor, cariño y comprensión a lo largo de la carrera.

Marco Abril Aguilar

Dedico con todo mi corazón mi tesis primeramente a Dios por brindar a mis padres la paciencia y amor incondicional permitiéndome alcanzar mi sueño de convertirme en ingeniera, sin ellos no hubiese sido posible lograrlo.

Este logro también lo dedico a mis hermanos para que vean reflejado en mí la constancia, perseverancia y muy pronto ellos también consigan alcanzar sus metas estudiantiles.

A mi familia por siempre comprender mi ausencia en ocasiones especiales y apoyarme durante mi carrera estudiantil, a mi incondicional compañero, consejero y dulce novio Marco por brindarme tu mano y caminar a mi lado durante mi vida universitaria.

Evelyn Lema Vinuesa

AGRADECIMIENTO

La culminación de la carrera en Electrónica es un gran éxito que atribuyo en gran parte a Dios, que me ha bendecido primero con mi llegada a la ESPE y segundo con la superación cada obstáculo presentado a lo largo de la carrera.

Sin embargo mi gran apoyo a lo largo de este duro camino ha sido mi familia en especial, mi mami Isabel Aguilar que con su amor, paciencia, perseverancia y bendiciones participo en la superación de problemas. Mi abuelita Consuelo Ambi que con sus detalles de infinita generosidad y cariño me han hecho reflexionar en cada momento, mi dulce hermanita Karen Arévalo que con su dulzura e inocencia borra cada sensación negativa, mis tíos Miguel, Vinicio, Marcelino por sus consejos y ayuda.

A mi preciosa novia, compañera de tesis, amiga Evelyn Lema que me apoyado y soportado en la universidad y en el desarrollo de la tesis, muchísimas gracias amor mío. A la familia Lema Vinueza, Juanito, Ximenita, Dayanita, Juanfer, Abuelita Rosita que con su apoyo desinteresado contribuyeron a la culminación de la carrera.

A mi padre y su familia que en medida de lo posible han estado pendientes de mi desempeño. Por otra parte me siento muy agradecido con las personas que han contribuido a la formación tanto profesional y personal, a usted licenciada Aracely de bienestar estudiantil y a mis amigos Marco, Jhonny que han estado compartiendo difíciles y gratos momentos. A los docentes que han compartido su conocimiento, experiencias en cada uno de los semestres.

A Codiempaques del Ecuador, Jorge Sabal por permitirme y confiar en mis conocimientos para el desarrollo del proyecto y a William Villagómez por compartirnos sus conocimientos.

Marco Abril Aguilar

Agradezco a Dios por ser mi guía, mi fuerza, mi amigo fiel permitiendome respaldar siempre mis decisiones en él para culminarlas con éxito.

Gracias también a mis afnegados padres por brindarme su invaluable apoyo, comprensión y generosidad a lo largo de mi vida estudiantil y pesonal sin su amor no hubiese sido posible alcanzar todos mis sueños.

A mis hermanos por siempre estar a mi lago brindandome una palabra de aliento y su amor incodicional. A toda mi familia por su confianza, apoyo y cariño.

También doy gracias por haber conocido a personas invaluableles durante mi carrera en especial a mi afnegado novio Marco Abril quien siempre me ha brindado fuerzas y cariño para terminar mis estudios y alcanzar mis metas.

Para finalizar agradezco a cada una de las personas de la empresa Codiempaques del Ecuador que permitieron realizar nuestro proyecto con éxito y a nuestra querida universidad en especial al Ing. Hugo Ortiz y Ing. Víctor Proaño por brindarnos sus conocimientos y apoyo durante la realización de nuestra tesis.

Evelyn Lema Vinueza

ÍNDICE

| | |
|--|-------------|
| CERTIFICADO | i |
| DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD | ii |
| AUTORIZACIÓN | iii |
| DEDICATORIA | iv |
| AGRADECIMIENTO | v |
| RESUMEN | xvi |
| ABSTRACT | xvii |
| | |
| CAPÍTULO I | 1 |
| | |
| GENERALIDADES | 1 |
| 1. ANTECEDENTES | 1 |
| 2. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA | 5 |
| 3. OBJETIVOS | 7 |
| 3.1. OBJETIVO GENERAL | 7 |
| 3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 7 |
| 4. ALCANCE | 8 |
| | |
| CAPÍTULO II | 10 |
| | |
| MARCO TEÓRICO | 10 |
| 1. INTRODUCCIÓN | 10 |
| 2. DESCRIPCIÓN DE LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE FLEJE TIPO PP | 12 |
| 2.1. PREPARACIÓN Y MOLIENDA | 13 |
| 2.2. PROCESO DE EXTRUSIÓN | 14 |
| 2.2.1. TRANSPORTE DEL MATERIAL | 15 |
| 2.2.2. CALENTAMIENTO O PLASTIFICACIÓN DEL MATERIAL | 16 |
| 2.2.3. PRESURIZACIÓN DEL FUNDIDO Y EXPULSIÓN POR LA BOQUILLA | 17 |
| 2.2.4. ENFRIAMIENTO Y MOLDEADO | 17 |
| 2.2.5. CALIBRACIÓN Y TENSIÓN | 18 |
| 2.2.6. BOBINADO | 19 |
| 3. SISTEMA DE BOBINADO DE FLEJE TIPO PP (POLIPROPILENO) | 19 |

| | | |
|--|---|---------------|
| 3.1. | COMPONENTES DEL SISTEMA DE BOBINADO DE FLEJE TIPO PP | 20 |
| 3.1.1. | AUTÓMATA PROGRAMABLE | 20 |
| 3.1.2. | DISPOSITIVOS DE MANDO Y MANIOBRA | 20 |
| 3.1.2.1. | SISTEMAS DE MANDO PERMANENTE | 21 |
| 3.1.2.2. | SISTEMAS DE MANDO INSTANTÁNEO | 22 |
| 3.1.2.3. | REGULACIÓN Y CONTROL | 22 |
| A. | SENSOR | 22 |
| B. | MOTORES ELÉCTRICOS | 24 |
| 3.1.2.4. | SEÑALIZACIÓN Y VISUALIZACIÓN | 30 |
| CAPÍTULO III | | 31 |
| DISEÑO DE HARDWARE Y DESARROLLO DE SOFTWARE | | 31 |
| 1. | ANÁLISIS MORFOLÓGICO | 31 |
| 1.1. | PROCESO DE ENROLLAMIENTO DE FLEJE EN EL CARRETE | 33 |
| 1.1.1. | TRANSMISIÓN DE POTENCIA | 34 |
| 1.1.1.1. | ALTERNATIVA A: MOTOR DE INDUCCIÓN | 35 |
| 1.1.1.2. | ALTERNATIVA B: MOTOR DC | 35 |
| 1.1.1.3. | ALTERNATIVA C: SERVOMOTOR | 36 |
| 1.1.1.4. | SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA PARA TRANSMISIÓN DE POTENCIA EN EL PROCESO DE ENROLLADO | 37 |
| 1.1.2. | TRANSMISIÓN DE MOVIMIENTO | 39 |
| 1.1.2.1. | ALTERNATIVA A: POLEAS - BANDA | 39 |
| 1.1.2.2. | ALTERNATIVA B: ENGRANAJE- ENGRANAJE | 40 |
| 1.1.2.3. | ALTERNATIVA C: ENGRANAJE- BANDA | 41 |
| 1.1.2.4. | SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA PARA MECANISMOS DE TRANSMISIÓN DE MOVIMIENTO EN EL PROCESO DE ENROLLADO | 41 |
| 1.2. | PROCESO DE POSICIONAMIENTO DEL FLEJE EN EL CARRETE | 43 |
| 1.2.1. | TRANSMISIÓN DE POTENCIA | 45 |
| 1.2.1.1. | ALTERNATIVA A: MOTOR A PASOS | 45 |
| 1.2.1.2. | ALTERNATIVA B: SERVOMOTOR | 45 |
| 1.2.1.3. | ALTERNATIVA C: MOTOR DC | 46 |
| 1.2.1.4. | SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA PARA TRANSMISIÓN DE POTENCIA EN EL PROCESO DE ENROLLADO | 46 |
| 1.2.2. | TRANSMISIÓN DE MOVIMIENTO | 49 |
| 1.2.2.1. | ALTERNATIVA A: HUSILLO DE BOLAS | 49 |
| 1.2.2.2. | ALTERNATIVA B: PIÑÓN – CREMALLERA | 50 |
| 1.2.2.3. | SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA PARA MECANISMOS DE TRANSMISIÓN DE MOVIMIENTO EN EL PROCESO DE POSICIONAMIENTO DE GUIA FLEJE | 50 |
| 1.3. | MATRIZ MORFOLÓGICA | 52 |
| 1.4. | ESPECIFICACIÓN DE ELEMENTOS Y DISPOSITIVOS PREVIO A LA PUESTA EN MARCHA DEL SISTEMA | 52 |
| 2. | DISEÑO DE HARDWARE | 57 |
| 2.1. | REQUISITOS DE PARÁMETROS Y VARIABLES | 58 |
| 2.2. | DISEÑO DEL SUBSISTEMA DE POTENCIA | 59 |
| 2.2.1. | SELECCIÓN DE MOTOR DE ENROLLAMIENTO | 59 |

| | | |
|-----------------------------|--|------------|
| 2.2.2. | SELECCIÓN DEL VARIADOR DE FRECUENCIA Y CALIBRE DE CONDUCTOR | 60 |
| 2.2.3. | SELECCIÓN DEL CONTROLADOR DEL MOTOR A PASOS | 62 |
| 2.2.4. | SELECCIÓN DE LA FUENTE DE ALIMENTACIÓN PARA EL CONTROLADOR DEL MOTOR A PASOS | 63 |
| 2.2.5. | SELECCIÓN DEL INTERRUPTOR TERMO MAGNÉTICO PARA CADA DISPOSITIVO Y SUBSISTEMA | 63 |
| 2.3. | DISEÑO DEL SUBSISTEMA DE CONTROL | 65 |
| 2.3.1. | SELECCIÓN DEL AUTÓMATA | 66 |
| 2.3.2. | SELECCIÓN DE PANTALLA DE OPERADOR | 66 |
| 2.3.3. | SELECCIÓN DE FUENTE DE ALIMENTACIÓN AUXILIAR | 67 |
| 2.3.4. | SELECCIÓN DEL ENCODER | 68 |
| 3. | DESARROLLO DE SOFTWARE | 68 |
| 3.1. | SOFTWARE DE CONTROL | 70 |
| 3.1.1. | CONTROL DE VELOCIDAD | 72 |
| 3.1.2. | CONTROL DE POSICIÓN | 76 |
| 3.1.3. | CONTROL DE CAMBIO DE GIRO | 78 |
| 3.1.4. | CONTROL DE TORQUE | 80 |
| 3.2. | COMUNICACIÓN ENTRE AUTÓMATAS | 83 |
| 3.3. | SOFTWARE DE HMI | 85 |
| 3.3.1. | LISTA DE INDICADORES | 85 |
| 3.3.2. | EVALUACIÓN | 90 |
| CAPÍTULO IV | | 94 |
| IMPLEMENTACIÓN | | 94 |
| 1. | NORMAS | 94 |
| 2. | MONTAJE DE ELEMENTOS MECÁNICOS | 99 |
| 2.1. | TRANSMISIÓN ENTRE MOTOR DE INDUCCIÓN Y EJE DE ROTACIÓN DEL CARRETE | 99 |
| 2.2. | TRANSMISIÓN ENTRE ENCODER Y EJE DE ROTACIÓN DEL CARRETE | 99 |
| 3. | MONTAJE DE ELEMENTOS ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS | 100 |
| 3.1. | MONTAJE DEL TABLERO PRINCIPAL | 100 |
| 3.2. | MONTAJE DE SENSORES INDUCTIVOS | 104 |
| 3.3. | MONTAJE DE PANEL DE OPERADOR | 105 |
| 3.4. | ACABADOS | 105 |
| 4. | INTEGRACIÓN DE HMI | 107 |
| 5. | PUESTA EN MARCHA | 108 |
| CAPÍTULO VI | | 112 |
| PRUEBAS Y RESULTADOS | | 112 |

| | |
|--|------------|
| 1. PRUEBAS Y RESULTADOS | 112 |
| 1.1. PRUEBAS Y RESULTADOS DEL SISTEMA MECÁNICO | 112 |
| 1.1.1. PRUEBAS Y RESULTADOS DEL HUSILLO DE BOLAS | 113 |
| 1.1.2. PRUEBAS DE ENROLLAMIENTO | 114 |
| 1.2. PRUEBAS Y RESULTADOS DEL SISTEMA ELÉCTRICO Y ELECTRÓNICO | 115 |
| 1.2.1. PRUEBAS Y RESULTADOS DEL PANEL DE OPERADOR | 115 |
| 1.2.2. PRUEBAS Y RESULTADOS DE PANEL DE CONTROL | 115 |
| 1.2.3. PRUEBAS DE SENSORES INDUCTIVOS | 116 |
| 1.2.4. PRUEBAS DE SENSOR ENCODER | 116 |
| 1.2.5. PRUEBAS DE CALIBRACIÓN DEL CONTROLADOR DE MOTOR A PASOS | 117 |
| 1.3. PRUEBAS Y RESULTADOS SISTEMA DE COMUNICACIÓN | 118 |
| 1.3.1. PRUEBAS Y RESULTADOS DE COMUNICACIÓN MODBUS | 118 |
| 1.3.2. PRUEBAS Y RESULTADOS DE FUNCIONAMIENTO DEL HMI | 119 |
| 1.4. PRUEBAS Y RESULTADOS DEL SISTEMA DE BOBINADO | 119 |
| | |
| CAPÍTULO VI | 121 |
| | |
| ANÁLISIS COSTO BENEFICIO | 121 |
| | |
| 1. DETALLE DE LA INVERSIÓN PARA LA AUTOMATIZACIÓN | 121 |
| 1.1. COSTOS DIRECTOS | 121 |
| 1.1.1. COSTOS DE MATERIALES | 122 |
| 1.1.2. COSTO DE HERRAMIENTAS Y EQUIPOS | 124 |
| 1.1.3. COSTOS DE MANO DE OBRA | 125 |
| 1.2. COSTOS INDIRECTOS | 125 |
| | |
| 2. ANÁLISIS DE GASTOS DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE BOBINADO | 126 |
| 2.1. PRODUCCIÓN DE FLEJE BOBINADO | 126 |
| 2.2. ANÁLISIS COSTO BENEFICIO | 128 |
| | |
| CAPÍTULO VII | 131 |
| | |
| CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 131 |
| | |
| 1. CONCLUSIONES | 131 |
| | |
| 2. RECOMENDACIONES | 133 |
| | |
| BIBLIOGRAFÍA | 135 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| <i>Figura 1. Fleje Metálico y Fleje Plástico.</i> | 2 |
| <i>Figura 2. Embalaje de diferentes productos para la comercialización y transporte.</i> | 2 |
| <i>Figura 3. Productos de empresa CODIEMPAQUES.</i> | 3 |
| <i>Figura 4. Sistema de Bobinado actualmente no operativo y tarjetas de control averiadas.</i> | 4 |
| <i>Figura 5.- Sistemas de Bobinado Automático.</i> | 5 |
| <i>Figura 6. Diagrama de Etapas de Producción de Fleje Plástico</i> | 12 |
| <i>Figura 7. Ubicación de sección de Línea de Extrusión Plástico</i> | 13 |
| <i>Figura 8. Zona de Reciclado y Selección de Material Reciclado</i> | 14 |
| <i>Figura 9. Esquema del Funcionamiento de una Extrusora de Plástico</i> | 14 |
| <i>Figura 10. Esquema de la Línea de Extrusión de Plástico.</i> | 15 |
| <i>Figura 11. Zona de Alimentación de Materia Prima</i> | 16 |
| <i>Figura 12. Zona de Calentamiento de Materia Prima</i> | 16 |
| <i>Figura 13. Expulsión de material Fundido por Boquilla</i> | 17 |
| <i>Figura 14. (a) Sistema de Enfriamiento y (b) Moldeado por Rodillos</i> | 18 |
| <i>Figura 15. Sistema de Calibración y Tensión del Sistema de Extrusión Extruder #1</i> | 18 |
| <i>Figura 16. Zona de Bobinado de Fleje</i> | 19 |
| <i>Figura 17. Componentes de un Sistema de Bobinado para Plástico</i> | 19 |
| <i>Figura 18. Clasificación de los Dispositivos de Mando y Maniobra</i> | 21 |
| <i>Figura 19. Aplicaciones de un Sensor Inductivo</i> | 23 |
| <i>Figura 20. Estructura externa de un Encoder Óptico Incremental</i> | 23 |
| <i>Figura 21. Contador Electrónico de Metros</i> | 24 |
| <i>Figura 22. Clasificación de los Motores Eléctricos por su tipo de Corriente</i> | 25 |
| <i>Figura 23. Estructura externa del Controlador del Motor Paso a Paso</i> | 26 |
| <i>Figura 24. Fuente de Voltaje DC 24 V 10 A para Dispositivos de Control de Motor Paso a Paso</i> | 28 |
| <i>Figura 25. Aplicaciones de Control con Variadores de Velocidad</i> | 29 |
| <i>Figura 26. Señalización del Tablero de Control de la Bobinadora y Pantalla de Interfaz.</i> | 30 |
| <i>Figura 27. Ponderación de criterios o alternativas</i> | 32 |
| <i>Figura 28. Rotación de eje a velocidad variable para enrollamiento de fleje tipo PP de 12 mm.</i> | 34 |
| <i>Figura 29.- Ventajas y desventajas del motor de inducción</i> | 35 |
| <i>Figura 30.- Ventajas y desventajas del motor DC</i> | 36 |
| <i>Figura 31.- Ventajas y desventajas del servomotor</i> | 36 |
| <i>Figura 32.- Ventajas y desventajas del mecanismo polea- banda</i> | 40 |
| <i>Figura 33.- Ventajas y desventajas del servomotor</i> | 40 |
| <i>Figura 34.- Ventajas y desventajas del servomotor</i> | 41 |

| | |
|--|-----|
| <i>Figura 35. Posicionamiento de la guía a través de husillo de bolas a lo largo del carrete de cartón.</i> | 44 |
| <i>Figura 36.- Ventajas y desventajas del servomotor</i> | 45 |
| <i>Figura 37.- Ventajas y desventajas del servomotor</i> | 46 |
| <i>Figura 38.- Ventajas y desventajas del servomotor</i> | 46 |
| <i>Figura 39.- Ventajas y desventajas del servomotor</i> | 49 |
| <i>Figura 40.- Ventajas y desventajas del servomotor</i> | 50 |
| <i>Figura 41. a) Sistema de bobinado completo para una línea de producción de cuatro flejes</i> | 54 |
| <i>Figura 42. Dimensiones de Fleje y Cono</i> | 57 |
| <i>Figura 43. Curva de desempeño Toque – Velocidad</i> | 61 |
| <i>Figura 44. Diagrama esquemático del sistema de bobinado</i> | 69 |
| <i>Figura 45. Funcionamiento Parcial de BOBINADORA #1</i> | 70 |
| <i>Figura 46. Procedimiento para bobinar un fleje tipo PP en el sistema de enrollamiento</i> | 71 |
| <i>Figura 47. Parámetros de entrada y salida al control de velocidad</i> | 72 |
| <i>Figura 48. Algoritmo de control de velocidad de motor a pasos</i> | 76 |
| <i>Figura 49. Parámetros de entrada y salida al control de posición</i> | 77 |
| <i>Figura 50. Algoritmo de control de posición del motor a pasos</i> | 77 |
| <i>Figura 51. Parámetros de entrada y salida al control de cambio de giro</i> | 78 |
| <i>Figura 52. Curva de Aceleración y Desaceleración de Motor a Pasos</i> | 79 |
| <i>Figura 53. Algoritmo de control de cambio de giro del motor a pasos.</i> | 79 |
| <i>Figura 54. Proceso de lectura y escritura de datos MAESTRO-ESCLAVO</i> | 84 |
| <i>Figura 55. Configuración de parámetros de comunicación MODBUS autómeta maestro</i> | 84 |
| <i>Figura 56. Configuración de parámetros de comunicación MODBUS autómeta esclavo</i> | 85 |
| <i>Figura 57. Tipos de pantallas.</i> | 88 |
| <i>Figura 58. Distribución de pantallas</i> | 88 |
| <i>Figura 59. Teclas de pantalla de operador con descripción</i> | 89 |
| <i>Figura 60. Fuentes para el diseño de pantalla</i> | 90 |
| <i>Figura 61. Terminales para cables eléctricos</i> | 95 |
| <i>Figura 62. Clemas para la interconexión de cables</i> | 95 |
| <i>Figura 63. Marcadores tipo anillo para cables</i> | 96 |
| <i>Figura 64. Conectores Industriales</i> | 96 |
| <i>Figura 65.- Canaleta ranurada para sujeción de cables</i> | 97 |
| <i>Figura 66. Transmisión mecánica motor de inducción eje de carrete</i> | 99 |
| <i>Figura 67. Transmisión mecánica entre encoder incremental y eje de carrete</i> | 99 |
| <i>Figura 68. Distribución de dispositivos eléctricos y electrónicos en el tablero industrial</i> | 100 |
| <i>Figura 69. Canaleta y riel DIN para la fijación de dispositivos eléctricos y electrónicos en parte frontal de tablero industrial.</i> | 101 |

| | |
|---|-----|
| <i>Figura 70. Canalización externa de actuadores y sensores</i> | 102 |
| <i>Figura 71. Cableado de tablero frontal y posterior de izquierda a derecha.</i> | 103 |
| <i>Figura 72. Disposición de conectores para actuadores y sensores (unidades en mm)</i> | 103 |
| <i>Figura 73. Conectores externos y distribución de pantallas</i> | 104 |
| <i>Figura 74. Posicionamiento del sensor Inductivo</i> | 104 |
| <i>Figura 75. Panel de Operador de Bobinadora #1</i> | 105 |
| <i>Figura 76. Sistema de bobinado de 3 partes antes de restauración</i> | 106 |
| <i>Figura 77. Sistema de bobinado en el área de pintura</i> | 106 |
| <i>Figura 78. Sistema de Bobinado en la etapa terminal</i> | 107 |
| <i>Figura 79. Configuración de Puerto de Conexión</i> | 107 |
| <i>Figura 80. Botón descargar de la barra de herramientas</i> | 108 |
| <i>Figura 81.- Calibración de guía fleje</i> | 109 |
| <i>Figura 82. Alineación de encoder y eje de carrete</i> | 109 |
| <i>Figura 83. Alineación de polea del eje del carrete y motor trifásica</i> | 110 |
| <i>Figura 84.- Activación de entradas y salidas de PLC</i> | 110 |
| <i>Figura 85.- Comprobación de variador de frecuencia</i> | 111 |
| <i>Figura 86. Bobinado de fleje de 12 mm en carrete de 180 mm</i> | 111 |
| <i>Figura 87. Diagrama de Barras de la Producción de la Línea de Extruder #1</i> | 130 |
| <i>Figura 88. Diagrama de Barras de Producción en dólares</i> | 130 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| <i>Tabla 1. Evaluación de pesos específicos para cada criterio de selección</i> | 37 |
| <i>Tabla 2. Evaluación del criterio de precio</i> | 37 |
| <i>Tabla 3. Evaluación del criterio de control</i> | 38 |
| <i>Tabla 4. Evaluación del criterio de disponibilidad</i> | 38 |
| <i>Tabla 5. Evaluación del criterio de alimentación</i> | 38 |
| <i>Tabla 6. Evaluación del criterio de mantenimiento</i> | 39 |
| <i>Tabla 7. Comparación cuantitativa de alternativas y criterios para la selección de motor de enrollado</i> | 39 |
| <i>Tabla 8. Evaluación de pesos específicos para cada criterio de selección</i> | 41 |
| <i>Tabla 9. Evaluación del criterio de precio</i> | 42 |
| <i>Tabla 10. Evaluación del criterio de instalación</i> | 42 |
| <i>Tabla 11. Evaluación del criterio de disponibilidad</i> | 42 |
| <i>Tabla 12. Evaluación del criterio de desgaste</i> | 43 |
| <i>Tabla 13. Comparación cuantitativa de alternativas y criterios para la selección de motor de enrollado</i> | 43 |
| <i>Tabla 14. Evaluación de pesos específicos para cada criterio de selección de motor en proceso de enrollado del fleje</i> | 47 |
| <i>Tabla 15. Evaluación del criterio de precisión</i> | 47 |
| <i>Tabla 16. Evaluación del criterio de control</i> | 47 |
| <i>Tabla 17. Evaluación del criterio de precio</i> | 48 |
| <i>Tabla 18. Evaluación del criterio de disponibilidad</i> | 48 |
| <i>Tabla 19. Evaluación del criterio de alimentación</i> | 48 |
| <i>Tabla 20. Comparación cuantitativa de alternativas y criterios para la selección de motor de enrollado</i> | 49 |
| <i>Tabla 21. Evaluación de pesos específicos para cada criterio de selección</i> | 50 |
| <i>Tabla 22. Evaluación del criterio de precisión</i> | 51 |
| <i>Tabla 23. Evaluación del criterio de instalación</i> | 51 |
| <i>Tabla 24. Evaluación del criterio de precisión</i> | 51 |
| <i>Tabla 25. Evaluación del criterio de disponibilidad</i> | 52 |
| <i>Tabla 26. Evaluación de pesos específicos para cada criterio de selección de transmisión de movimiento en el proceso de posicionamiento.</i> | 52 |
| <i>Tabla 27. Matriz morfológica de sistema de bobinado</i> | 53 |
| <i>Tabla 28. Estado de los componentes eléctricos y electrónicos del sistema de bobinado</i> | 54 |
| <i>Tabla 29. Estado de los componentes mecánicos del sistema de bobinado</i> | 56 |
| <i>Tabla 30. Designación de señales eléctricas de salida de autómeta</i> | 58 |
| <i>Tabla 31. Designación de señales eléctricas de entrada de autómeta.</i> | 58 |
| <i>Tabla 32. Parámetros de variador de frecuencia MICNO</i> | 81 |

| | |
|--|-----|
| <i>Tabla 33. Lista de Indicador según Guía GEDIS.</i> | 86 |
| <i>Tabla 34. Sub indicadores del indicador de arquitectura</i> | 91 |
| <i>Tabla 35. Sub indicadores del indicador distribución de pantallas</i> | 91 |
| <i>Tabla 36. Sub indicadores del interfaz de navegación</i> | 91 |
| <i>Tabla 37. Sub indicadores del indicador de uso de fuentes e información textual</i> | 92 |
| <i>Tabla 38. Resultado de indicadores de la guía GEDIS</i> | 93 |
| <i>Tabla 39. Código de color de conductores industriales</i> | 97 |
| <i>Tabla 40. Pruebas de posicionamiento para husillo de bolas</i> | 113 |
| <i>Tabla 41. Pruebas de sistema de enrollamiento</i> | 114 |
| <i>Tabla 42. Pruebas de detección del sensor inductivo</i> | 116 |
| <i>Tabla 43. Pruebas de detección de pulsos en sensor encoder</i> | 117 |
| <i>Tabla 44. Pruebas de configuración de parámetros de controlador</i> | 117 |
| <i>Tabla 45. Producción en el sistema de bobinado de la línea Extruder #1</i> | 119 |
| <i>Tabla 46. Costo de Materiales Mecánicos</i> | 122 |
| <i>Tabla 47. Costo de Materiales Electrónicos</i> | 123 |
| <i>Tabla 48. Costo de Equipos Electrónicos</i> | 124 |
| <i>Tabla 49. Costo de Herramientas para puesta en marcha del sistema</i> | 125 |
| <i>Tabla 50. Costos de Mano de Obra puesta en marcha del sistema</i> | 125 |
| <i>Tabla 51. Costos Indirectos para la puesta en marcha del sistema</i> | 125 |
| <i>Tabla 52. Prepuestos Total de la puesta en marcha del Sistema de Bobinado</i> | 126 |
| <i>Tabla 53. Estadísticas de Conos Bobinados con el antiguo sistema de bobinado</i> | 127 |
| <i>Tabla 54. Estadísticas de conos bobinados durante la puesta en Marcha del nuevo sistema de bobinado</i> | 128 |
| <i>Tabla 55. Costos de Materia Prima para elaboración de Fleje</i> | 128 |

RESUMEN

El presente proyecto describe la **automatización** de la línea de bobinado de fleje tipo PP en el área de empaque para un sistema Extruder #1 de **extrusión** de plástico en la empresa CODIEMPAQUES del ECUADOR Cía. Ltda. El sistema de extrusión Extruder #1 entrega cuatro hilos de fleje al área de empaque para su posterior bobinado, sin embargo la producción del sistema ha tenido que disminuir a la mitad debido a que la línea de **bobinado** se encuentra en estado no operativo, porque tarjetas de control empleadas en los bobinadores están obsoletas por falta de mantenimiento preventivo y correctivo al no existir soporte técnico por parte de la empresa proveedora de los sistemas de embalaje. Para el proyecto se diseñó e implementó controles de velocidad, posición, cambio de giro y fuerza para cada bobinador. En el proceso de enrollado interviene cuatro motores de inducción que obedecen a un control de fuerza; en el proceso de posicionamiento trabajan cuatro motores a pasos que son controlados a través del control de velocidad, posición y cambio de giro. Los algoritmos son ejecutados en el controlador, que recibe las señales de sensores inductivos y encoders incrementales; posteriormente las señales son transferidas mediante red de autómatas **MODBUS** para su procesamiento. En el proceso de implementación se realizó diagramas eléctricos y de posicionamiento a través de herramientas de **CAD**, que optimizaron el tiempo y recursos. El proyecto mejoró la producción atendiendo características de calidad del producto bobinado y reduciendo el fleje reprocesado, con una inversión de capital recuperada en la puesta en marcha del sistema de bobinado en el primer trimestre de producción.

PALABRAS CLAVE:

EXTRUSIÓN

BOBINADO

MODBUS

CAD

AUTOMATIZACIÓN

ABSTRACT

This project describes the **automation** of the line winding PP strap type in the packing area for Extruder # 1 set of plastic **extrusion** ECUADOR CODIEMPAQUES Company Cia. Ltda. The extrusion system Extruder # 1 provides four-wire strip to the packing area for further **winding**, however production system had to be halved because the coil line is in non-operational state, because the control electronic cards used in tape drives are obsolete for lack of preventive and corrective maintenance in the absence of support by the supplier of packaging systems. For the project was designed and implemented controls speed, position, rotation and change of strength for each tape drive. In the winding process involved four engines induction obey a force control; the process of positioning has works with four stepper motors that are controlled through control of speed, position and rotation. The algorithms are implemented in the PLC by controllers, that receive signals from inductive sensors and incremental encoders; then the signals are transferred by **MODBUS** PLC network for processing. In the implementation process and electrical diagrams positioning was performed using **CAD** tools, which optimized time and resources. The project improved production response characteristics coiled product quality and reducing rework strap with a capital investment recovered at the start of winding system in the first three months.

KEY WORDS:

EXTRUSION

WINDING

MODBUS

CAD

AUTOMATION

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1. ANTECEDENTES

El **fleje** es una cinta originariamente metálica, utilizada para asegurar o fijar el embalaje de diversos productos, mayoritariamente mercadería pesada. La principal característica de esta cinta es su resistencia a la tracción.

Con la evolución en el tratamiento industrial de plásticos **polipropileno** y **poliéster**, el uso de fleje metálico se ha ido trasladando paulatinamente al fleje plástico sobre todo en aplicaciones de embalaje, como se muestra en la Figura 1.

El motivo principal de esta migración fue la seguridad en el trabajo y coste del propio producto. El fleje metálico puede provocar cortes en operadores debido a su rigidez mientras el fleje plástico es flexible y tiene un menor costo.

En la actualidad el fleje es uno de los materiales más utilizados en el mundo del empaque y embalaje en sus diferentes presentaciones: polipropileno, poliéster y acero. (SAS, 2004)

Descriptores

Fleje.- Cinta plástica o metálica, utilizada para asegurar o fijar diversos productos en el área de embalaje. La principal característica es la resistencia y flexibilidad.

Polipropileno.- Es un material inerte que posee ciertas características que permiten su reciclaje sin un mayor impacto ambiental.

Poliéster.- Es una resina que se caracteriza por su resistencia a diversos agentes de la química y a la humedad, lo que permite que sea utilizada en la elaboración de diversos productos.

Es así que CODIEMPAQUES del Ecuador Cía. Ltda., nace con el objetivo de brindar productos de embalaje con excelente calidad a empresas productoras y comercializadoras; permitiéndoles desarrollar y mantener un ambiente laboral libre de accidentes y riesgos.



Figura 3. Productos de empresa CODIEMPAQUES.
(CODIEMPAQUES, 2000)

CODIEMPAQUES ha logrado establecer gran capacidad productiva e innovadora para liderar eficientemente el mercado del embalaje, convirtiéndose en una de las empresas ecuatorianas con más años de experiencia en la fabricación de productos plásticos y comercialización de telas **Saram** o Rashell, telas agrícolas y demás productos relacionados con la línea de flejes como los ejemplos que se muestran en la Figura 3.

Actualmente en su planta ubicada en el sector industrial de Quito, desarrolla, produce y representa productos de primer nivel para la exportación y mercado nacional, con la calidad y eficiencia que se ha caracterizado; satisfaciendo diversos mercados que demandan de estos productos, siendo sus principales transacciones en las áreas industriales, bananeras, florícolas y agrícolas en general.

La línea de producción utilizada en el proceso de bobinado en la empresa CODIEMPAQUES se encuentra en estado no operativo, debido a que las tarjetas de control empleadas en los bobinadores están obsoletas por falta de mantenimiento

preventivo y correctivo al no existir soporte técnico por parte de la empresa proveedora de los sistemas de embalaje. Por medio de información encontrada en las placas de los **ASIC** se logró establecer que fueron fabricadas en España en 1974. La Figura 4 muestra un bobinador del sistema de bobinado de la línea de producción EXTRUDER #1, el mismo trabaja con fleje de 5 mm de espesor y de tipo PP a una velocidad de 150 m/min. (CODIEMPAQUES, 2000)



Figura 4. Sistema de Bobinado actualmente no operativo y tarjetas de control averiadas.

Por otra parte, existen empresas internacionales dedicadas al proceso de extrusión de plástico y fabricación de maquinaria, entre las cuales podemos encontrar a FROMM, CYCLOP, SAIZAR, ROYAL TECH MACHINERY, JUMBO STELL MACHINERY distribuidas en el mundo. La Figura 5 muestra cuatro bobinadores automáticos independientes de la empresa SAIZAR. (SAIZAR, 2006)



Figura 5.- Sistemas de Bobinado Automático.
(SAIZAR, 2006)

El sector industrial crece aceleradamente en todo el mundo, con tendencia a la automatización en cada uno de sus sistemas y procesos, con el fin de optimizar la producción y maximizar las ganancias. Sin embargo la automatización todavía no es accesible en muchas empresas de nuestro país debido al factor costos de los sistemas y el personal capacitado requerido para la operación y mantenimiento; entonces se optó por soluciones de ingeniería local, con la intervención de conocimiento en electricidad, electrónica y mecánica en la aplicación de nuevos conceptos y desarrollos tecnológicos.

2. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

Antes de la revolución industrial la producción se realizaba de forma artesanal y en pequeñas cantidades para un mercado limitado, sin duda las necesidades mundiales han cambiado, orientadas más hacia el consumo en grandes cantidades. Las fábricas tienen una visión de producción en serie para cubrir no solo mercados nacionales sino también mercados a nivel mundial.

Descriptor

Saram.- Fibra textil proviene de diversos productos derivados al petróleo. Su mayor aplicación está en el sector agrícola como tejido de sombra.

ASIC: Circuito Integrado de Aplicación Específica.

Con una producción en serie surgen diferentes problemas operacionales para adquisición de materias primas, procesos de producción, fuentes de energía eléctrica, embalaje a gran escala, sin olvidar problemas gerenciales y de logística.

En Ecuador debido a leyes promovidas por el Gobierno en relación al cambio de la matriz productiva, se han limitado las importaciones de productos a gran escala, de esta forma se incrementará la producción interna y se abarcará una importante plaza laboral. En la actualidad se está experimentado un crecimiento acelerado de la industria ecuatoriana para satisfacer las necesidades en diferentes áreas, debido a la demanda de productos y materiales de la población.

El crecimiento industrial en nuestro país registra cifras alentadoras de entre el 22,6% y 24,8% en los últimos cuatro años, especialmente en la zona florícola, bananera, camaronera, maderera, industrial entre las más conocidas. Estos productos son muy cotizados en mercados internacionales, razón por la cual deben cumplir normas de embalaje internacional para su transporte y distribución.

El embalaje asegura el cumplimiento de estándares de calidad en el transporte y comercialización nacional e internacional de la mercadería, de esta forma las empresas productoras y comercializadoras minimizan pérdidas económicas producidas por el reproceso de productos. (Ministerio de la Coordinación de la Producción, 2012) (Ministerio de la Producción del Ecuador, 2013).

Actualmente la empresa CODIEMPAQUES del ECUADOR es una de las catorce empresas productoras de material de empaque, fleje plástico tipo Polipropileno (PP). Bajo la demanda mencionada de fleje plástico la empresa necesita incrementar la producción en un 25%, pese a que una línea de producción de bobinado se encuentra en estado no operativo, por falta de mantenimiento y soporte técnico. La empresa planifica la inserción de cuatro bobinadores automáticos en las líneas de producción en el Área de Empaque.

Estas líneas de producción contarán con una nueva tecnología óptima y flexible con el uso de autómatas; en contraposición al sistema actual que emplea hojas técnicas de parámetros para las dimensiones de ancho de fleje y carrete establecidos por el fabricante.

3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GENERAL

- ✚ Reparar y poner en marcha una Línea de Producción de Bobinado de Fleje Tipo PP para el Sistema Extruder #1 de Extrusión de Plástico en la Empresa CODIEMPAQUES DEL ECUADOR CIA. LTDA.

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✚ Diagnosticar el estado de componentes eléctricos, electrónicos y mecánicos que determinan el funcionamiento del sistema de bobinado actual.
- ✚ Diseñar un sistema de enrollado capaz de bobinar fleje plástico tipo PP de forma compacta y con una fuerza de tensado adecuado para evitar des enrollamiento.
- ✚ Implementar un sistema flexible tanto en operatividad como en funcionalidad que permita el bobinado de fleje plástico tipo PP, en su respectivo carrete de forma que la operación sea amigable para el personal encargado.
- ✚ Evaluar el sistema desarrollado mediante pruebas de operación y funcionalidad a fin de conseguir un funcionamiento óptimo.

- ✚ Desarrollar la documentación del proyecto de manera técnica, atendiendo las normativas respectivas.

4. ALCANCE

El presente proyecto de grado propone la automatización de un proceso de bobinado de fleje tipo PP (Polipropileno), de una línea de **extrusión de plástico** en la empresa CODIEMPAQUES del Ecuador Cía. Ltda.

En una línea de producción para extrusión de plástico intervienen complejos procedimientos en la fundición, transporte, tensado y almacenamiento. La materia prima empleada en este proceso es plástico molido y granulado y como producto terminado se obtiene una cinta plástica de grosor y ancho definidos por la industria. Por consiguiente el fleje plástico es enrollado sobre un **carrete cilíndrico** de cartón para su almacenamiento y distribución al mercado. (OMGMSas, 2013) (SAIZAR, 2006)

El proyecto iniciará con el diagnóstico de todos los componentes eléctricos, electrónicos y mecánicos que permiten la operatividad de toda la línea de producción en el área de empaque. Los antecedentes determinan que el sistema no está operativo. Por este motivo en el proyecto se realizarán las acciones necesarias para poner en funcionamiento al sistema de cuatro bobinadores. El sistema podrá operar de forma total o parcial con cada uno de ellos, dependiendo de la producción de la línea de extrusión de plástico que le antecede.

Se prevé que será necesario el cambio de motores manteniendo la estructura mecánica del sistema original. De esta forma cada bobinador trabajará con un motor trifásico y un motor a pasos, uno para enrollar el fleje sobre el carrete de cartón y el otro para el accionamiento de un tornillo sin fin que permitirá recorrer todas las posiciones posibles del ancho del carrete en el cual se enrollara el fleje.

En el proyecto se diseñará e implementará controles de velocidad, posición y cambio de giro en cada bobinador. En el proceso de enrollado se usará un motor de inducción controlado por variadores de frecuencia para el control de fuerza, en el proceso de posicionamiento se empleará un motor a pasos para los controles de velocidad y cambio de giro, encoders incrementales y sensores inductivos para el control de posición del tornillo sin fin. El control de los variadores se realizará por medio de dos autómatas modulares en el cual actúan algoritmos de control que usan señales provenientes de los sensores. El manejo de estas señales se realizará mediante dos autómatas a través de una red **MODBUS** para transferir datos requeridos en diferentes procesos.

En la parte operativa del sistema, el operador podrá ingresar parámetros variables de ancho del fleje y carrete, entre 5 hasta 15 milímetros y 100 hasta 220 milímetros respectivamente a través de un interfaz humano máquina implementada en una pantalla monocromática.

De acuerdo a los requerimientos del sistema se entregará de un carrete compacto, con bobinado uniforme y tensión adecuada para evitar desenrollamiento del fleje, determinado por el torque suministrado por los variadores de frecuencia a los motores. La separación entre vueltas de fleje bobinado sobre el carrete será menor a un milímetro para optimizar la distribución.

Descriptores

Carrete cilíndrico.- Cilindro en que se enrolla en el cual se enrollan diferentes tipos de materiales.

Extrusión de plástico.- Es un proceso industrial, en donde se realiza una acción de prensado, moldeado de plástico, que por flujo continuo con presión y empuje, se lo hace pasar por un molde encargado de darle la forma deseada.

MODBUS.- Es un protocolo de comunicaciones basado en una arquitectura maestro/esclavo.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

1. INTRODUCCIÓN

A través de los años el hombre se ha propuesto mejorar sus condiciones de vida, facilitar sus labores cotidianas, mejorar los procesos de producción logrando cada vez ser más competitivo y generando mayor riqueza a través de su trabajo, evitando desgastarse e incluso tener que hacerlo por sí mismo.

Esto ha sido posible a partir de la inventiva, experiencia y demás virtudes que el hombre posee, con el apoyo del avance tecnológico producido en los últimos años se ha logrado crear sistemas automáticos dentro de los procesos industriales tanto en el Ecuador como a nivel mundial, enfocándose en aspectos como reducir al máximo la participación de operarios en trabajos pesados y generar para sí mismos mayores beneficios.

Estos sistemas han generado en el hombre la necesidad de tener todo proceso de manera automática, a partir de esta idea, se concibe la automatización como una serie de sistemas que de manera automática o semiautomática logran realizar cualquier trabajo en menos tiempo y con mayor calidad. Logrando disminuir significativamente fallas de tipo humano, así como mejorar niveles de producción y sus niveles de vida. (MORENO, 2011)

Como proceso la automatización se compone de tres fases, ingreso de datos, procesamiento de datos y salida de datos. En la fase de ingreso de datos se pueden emplear pulsadores, perillas, accionadores y sensores. Los sensores detectan y transmiten cualquier cambio en variables físicas como temperaturas, presión, humedad, entre otras al controlador para el posterior procesamiento.

El manejo de estas variables permite al operador o programador, generar una serie de características que deben cumplirse luego de ser analizados los requerimientos; por ejemplo, se podría utilizar la variable física temperatura en un sistema de calefacción como señal de inicio para efectuar un proceso automático. (SÁNCHEZ, 2011)

El procesamiento de estas entradas requiere el uso de tecnologías como computadoras, controladores lógicos, cuya elección y capacidad dependerán en gran medida de los resultados esperados. Finalmente se obtiene la señal de salida, después de haber realizado el análisis y modelamiento de las señales de entrada, se transmite mediante estándares de comunicación las señales hacia los actuadores. (RODRÍGUEZ, 2009)

Dentro del campo de la producción industrial, la automatización ha pasado de ser una herramienta de trabajo deseable a una herramienta indispensable para competir en el mercado globalizado. Ningún empresario puede omitir la automatización de sus procesos para aumentar la calidad de sus productos, reducir los tiempos de producción, realizar tareas complejas, reducir los desperdicios o piezas defectuosas y especialmente aumentar la rentabilidad.

La mejor alternativa para poder fabricar productos en menor tiempo, con calidad, optimizando recursos y costos fue incrementar el uso de maquinaria dentro de las industrias, desde allí la automatización industrial empezó a ser de vital importancia y se halla en continuo crecimiento.

2. DESCRIPCIÓN DE LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE FLEJE TIPO PP

El proceso de transformación de plásticos en formas básicas, láminas y tubos consiste en fundir parcialmente el material mediante aplicación de calor y compresión para obtener la forma deseada mediante el uso de rodillos, orificios, moldes. Finalmente el plástico caliente ya formado se solidifica por enfriamiento.

La tecnología de la transformación o procesado de plástico tiene como finalidad obtener objetos y piezas de formas predeterminadas y estables, cuyo comportamiento sea adecuado a las aplicaciones a las que están destinados.

Una de las características más destacadas de los materiales plásticos es la gran facilidad y economía con la que pueden ser procesados a partir de unas materias primas convenientemente preparadas, a las que se les han añadido los pigmentos, cargas y aditivos necesarios para cada aplicación. Las técnicas más utilizadas son la de extrusión y moldeo por inyección. (MORENO D. G., 2013)

La extrusión de plásticos es un proceso de manufactura de una alta demanda en el mercado actual, en donde el polímero en crudo es derretido y guiado a un proceso de formación de un perfil continuo. El proceso de producción de fleje tipo PP consta de cuatro etapas como se muestra en la Figura 6 .

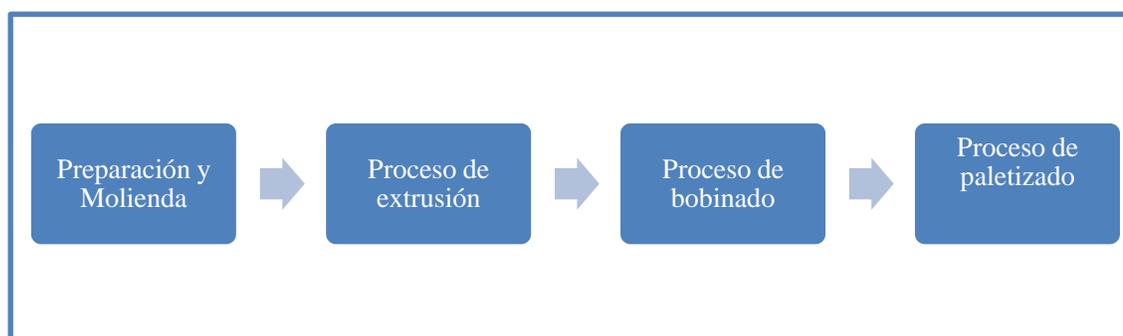


Figura 6. Diagrama de Etapas de Producción de Fleje Plástico

En la Figura 7 se muestra la distribución de las zonas de producción en donde se realizan las etapas anteriormente mencionadas, desde el reciclaje de materia prima hasta el despacho del fleje bobinado.

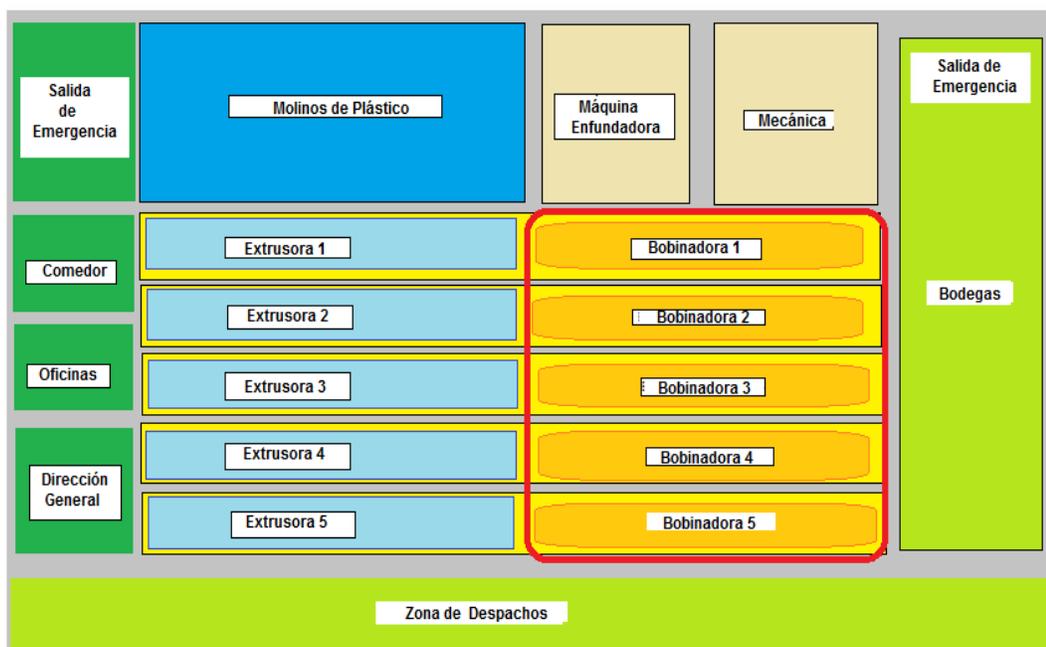


Figura 7. Ubicación de sección de Línea de Extrusión Plástico

2.1. PREPARACIÓN Y MOLIENDA

El proceso productivo se inicia con la selección de los residuos plásticos para obtener una materia prima adecuada libre de impurezas. El material debidamente separado de elementos extraños se introduce en el molino mediante una cinta transportadora, donde se realiza la trituración mediante cuchillas de acuerdo a la Figura 8.

El proceso de molienda reduce el tamaño de los residuos plásticos hasta obtener el tamaño deseado, una vez triturado el plástico es retirado de la tolva del molino en contenedores plásticos para dirigirse a la siguiente etapa. (MORENO D. G., 2013)



Figura 8. Zona de Reciclado y Selección de Material Reciclado

2.2. PROCESO DE EXTRUSIÓN

La extrusión de plástico consiste en calentar y modelar el plástico anteriormente procesado. Por ser una operación continua es ampliamente usada en la fabricación de piezas, tales como filamentos, varillas, tubos, películas, fundas para alambres. (BELTRÁN & MARCILLA, 2012)

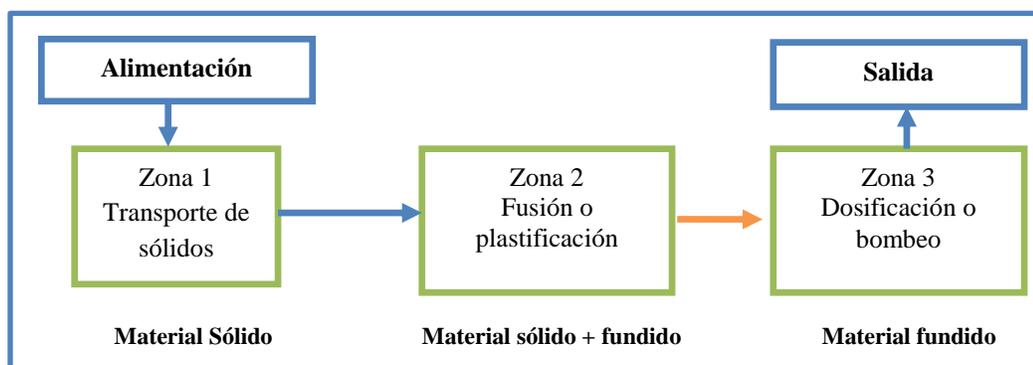


Figura 9. Esquema del Funcionamiento de una Extrusora de Plástico (BELTRÁN & MARCILLA, 2012)

Descriptorios

Polímero.-Es un compuesto químico que posee una elevada masa molecular.

Durante este proceso, por lo general, el **polímero** se alimenta en forma sólida obteniendo a la salida de la extrusora un material en estado fundido. En la Figura 9 se observa el funcionamiento de una extrusora de forma general.

El proceso de extrusión como se observa en la Figura 10 comprende de las siguientes etapas:

- ✚ Transporte del material
- ✚ Calentamiento o plastificación del material
- ✚ Presurización del fundido y expulsión por la boquilla
- ✚ Enfriamiento y moldeado
- ✚ Dispositivo de calibración
- ✚ Bobinado.

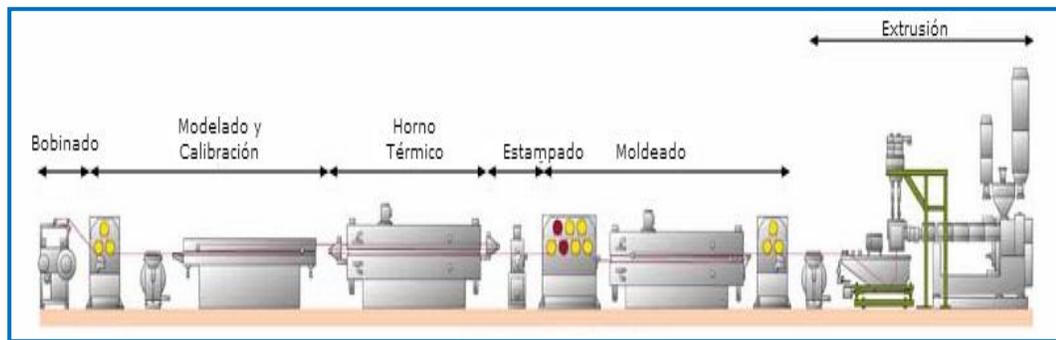


Figura 10. Esquema de la Línea de Extrusión de Plástico.
(CODIEMPAQUES, 2000)

2.2.1. TRANSPORTE DEL MATERIAL

El material plástico granulado y seco se alimenta en una tolva, para ser transportado a lo largo de una cámara, cilindro o barril calentado, en donde el material se mueve por medio de un husillo que gira en forma continua como se muestra en la Figura 11. Para un transporte eficiente los gránulos deben adherirse y mostrar un alto grado de deslizamiento en la pared del canal del husillo. (BELTRÁN & MARCILLA, 2012)



Figura 11. Zona de Alimentación de Materia Prima

2.2.2. CALENTAMIENTO O PLASTIFICACIÓN DEL MATERIAL

La función del tornillo, en un equipo de extrusión, es la de transportar el material en estado completamente fundido, desde la tolva de alimentación hasta la matriz del extruder. A medida que el tornillo rota el material es obligado a desplazarse hacia delante debido a que este se funde y se mezcla como se muestra en la Figura 12.

Par a fundir los gránulos, se genera calor internamente por fricción o calentadores eléctricos colocados alrededor del barril, para esto se necesita un control de la cantidad de calor que se aplica, si el material se calienta demasiado se puede desgastar o hacerse demasiado fluido. Durante este proceso, el material sufre un aumento considerable de temperatura y de viscosidad.

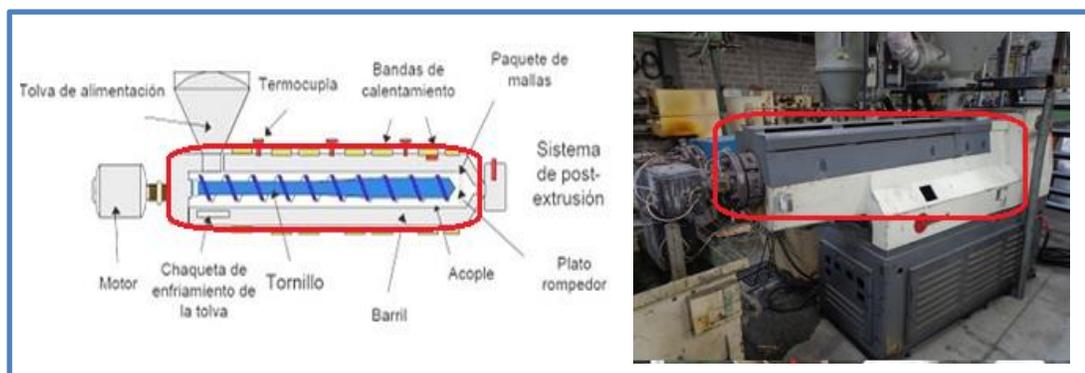


Figura 12. Zona de Calentamiento de Materia Prima

2.2.3. PRESURIZACIÓN DEL FUNDIDO Y EXPULSIÓN POR LA BOQUILLA

En la zona central de calentamiento la mayoría del plástico esta ya fundido, se compacta por la compresión que sufre y finalmente es obligado a salir a través de una abertura del dado o matriz donde el producto adquiere la forma deseada. El producto sale tan blando que debe seguir un proceso de enfriamiento y moldeo como se muestra en la Figura 13. (BELTRÁN & MARCILLA, 2012)



Figura 13. Expulsión de material Fundido por Boquilla

2.2.4. ENFRIAMIENTO Y MOLDEADO

Cuando el material fundido sale de la extrusora debe enfriarse inmediatamente para conservar la forma y adquirir la rigidez necesaria. Para ello será necesario un sistema de enfriamiento y modelado.

En la Figura 14 se observa el enfriamiento del plástico fundido a través de agua fría para su posterior modelamiento, para el sistema de modelado se emplea una banda transportadora o una serie de rodillos, por medio de los cuales se desplaza el producto a la zona de bobinado. El enfriamiento del material fundido produce su contracción reduciéndose el tamaño y aumento su densidad.



Figura 14. (a) Sistema de Enfriamiento y (b) Moldeado por Rodillos

2.2.5. CALIBRACIÓN Y TENSIÓN

El sistema de calibrado permite determinar el espesor, el diámetro interno y externo del fleje. Las velocidades de los rodillos de presión o de los rodillos transportadores deben ser las adecuadas para que se obtenga un producto uniforme, en el caso de producirse una tensión excesiva puede producirse deformaciones en las cinta de fleje produciendo perdidas en la fuerza de tensión de la lámina plástica como se muestra en la Figura 15.



Figura 15. Sistema de Calibración y Tensión del Sistema de Extrusión Extruder #1

2.2.6. BOBINADO

Una vez concluido con el proceso de extrusión de plástico este procede a la zona de bobinado, en donde el fleje es enrollado en carretes dando finalizado el proceso de producción como se muestran en la Figura 16.



Figura 16. Zona de Bobinado de Fleje

3. SISTEMA DE BOBINADO DE FLEJE TIPO PP (POLIPROPILENO)

Una bobinadora permite enrollar el fleje en un carrete de forma que las espiras puedan quedar separadas por una determinada distancia. En una máquina bobinadora hay dos partes independientes que trabajan de forma sincronizada: rodillo giratorio donde se coloca el carrete y el soporte desplazable para el carrete del fleje como se muestra en la Figura 17.

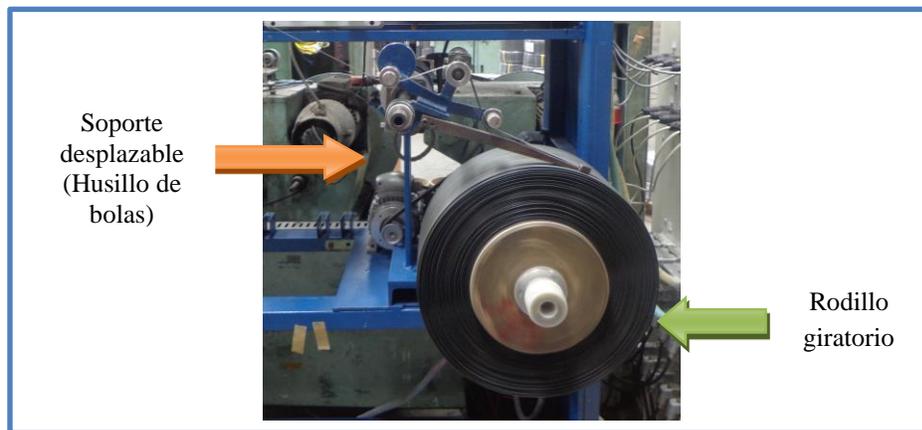


Figura 17. Componentes de un Sistema de Bobinado para Plástico

3.1. COMPONENTES DEL SISTEMA DE BOBINADO DE FLEJE TIPO PP

3.1.1. AUTÓMATA PROGRAMABLE

Cuando se habla de PLC, se habla de un controlador lógico programable, el cual se encarga de ordenar las acciones de la máquina, teniendo en cuenta que las distintas variables que rigen el proceso se encuentren dentro de su rango de valores aceptables.

En la mayoría de los procesos industriales se requiere que se cumplan ciertas condiciones de operación y seguridad para poder funcionar. Esto se da desde niveles de operación que requieran mucho apoyo por parte de un operador, hasta el nivel donde se tiene un sistema completamente automático. La automatización de procesos requiere de la ejecución de cierta lógica de permisos y de una secuencia que puede ser controlada usando relés y temporizadores, hoy se prefiere utilizar PLCs.

Inicialmente, los PLCs se diseñaron para sustituir relés en control secuencial. Actualmente sigue siendo su aplicación principal, pero tienen capacidad para realizar otras funciones como: control de variables (temperatura, velocidad) almacenamiento de datos y comunicación. (PORRAS, 2009)

3.1.2. DISPOSITIVOS DE MANDO Y MANIOBRA

Los dispositivos de mando y maniobra permiten actuar sobre el flujo de la energía, conectando, desconectando y regulando las cargas eléctricas. Se los puede dividir de mando permanente, mando instantáneo, mando particular y dispositivos de control como se muestra en la Figura 18. (SABACA, 2009)

3.1.2.1. SISTEMAS DE MANDO PERMANENTE

La principal característica de los sistemas de mando permanente radica en que al accionar el dispositivo de puesta en marcha permanecen en esa posición hasta que se actúa nuevamente sobre ellos. Al permanecer cerrados, mantienen en tensión todos los elementos que alimentan hasta que se actúa de nuevo sobre el mando para realizar la parada. Como ejemplo tenemos interruptores, conmutadores, selectores, pulsadores con llave. (SABACA, 2009)

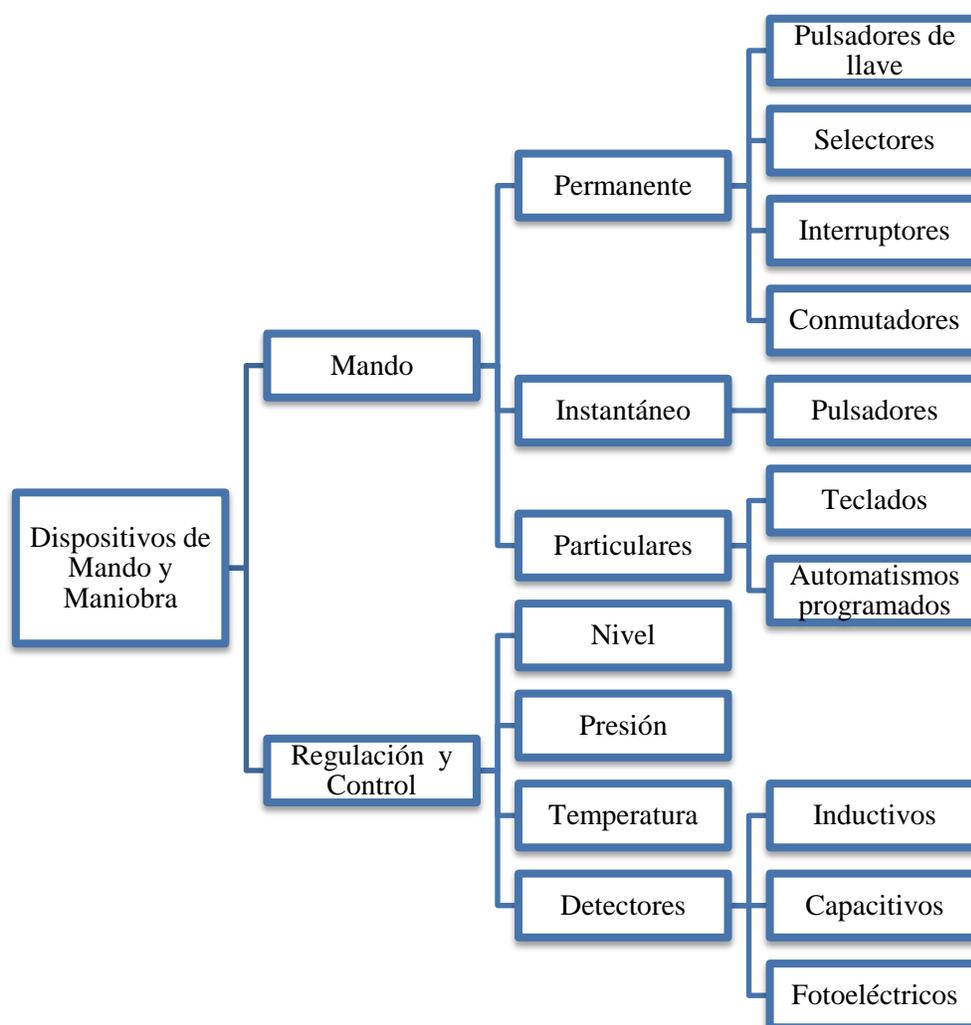


Figura 18. Clasificación de los Dispositivos de Mando y Maniobra

3.1.2.2. SISTEMAS DE MANDO INSTANTÁNEO

Los sistemas de mando instantáneo tienen la particularidad de recuperar la posición de reposo en el momento en que cesa la fuerza que se ejerce sobre ellos. Podemos destacar los pulsadores y finales de carrera. Para la puesta en marcha se utiliza normalmente un pulsador normalmente abierto, para la parada se emplea un pulsador normalmente cerrado. (SABACA, 2009)

3.1.2.3. REGULACIÓN Y CONTROL

Los reguladores y dispositivos de control son pequeñas instalaciones inteligentes que se componen de una entrada de sensor, un indicador digital y una salida de regulación. Existen reguladores y dispositivos de control para diferentes trabajos de medición y regulación.

A. SENSOR

Un sensor es un dispositivo capaz de transformar magnitudes físicas o químicas, llamadas variables de instrumentación, en magnitudes eléctricas que se pueden cuantificar y manipular. Las magnitudes de instrumentación dependen del tipo de sensor y pueden ser de ultrasonido, temperatura, intensidad luminosa, distancia, aceleración, inclinación, presión, fuerza, torsión, humedad.

SENSOR INDUCTIVO

Este tipo de sensores incorporan una bobina electromagnética que es usada para detectar la presencia de un objeto de metal conductor e ignorar objetos que no sean metálicos. (DUNN, 2009)

Son empleados principalmente en la industria, en aplicaciones de posicionamiento para detectar la presencia de un objeto metálico en determinados contextos como se

muestra en la Figura 19, control de presencia, detección de paso, de atasco, de posicionamiento, de codificación y de conteo.

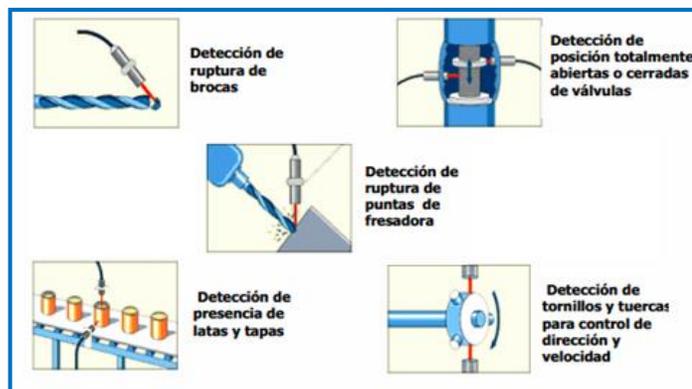


Figura 19. Aplicaciones de un Sensor Inductivo
(MORENO E. G., 2011)

ENCODER

Los encoders son sensores que generan señales digitales en respuesta al movimiento. Están disponibles en dos tipos, uno que responde a la rotación, y el otro al movimiento lineal. Cuando son usados en conjunto con dispositivos mecánicos tales como engranes, ruedas de medición o flechas de motores, estos pueden ser utilizados para medir movimientos lineales, velocidad y posición.

Los encoders están disponibles con diferentes tipos de salidas, uno de ellos son los encoder incrementales como se muestra en la Figura 20 , que generan pulsos mientras se mueven, se utilizan para medir la velocidad, o la trayectoria de posición. El otro tipo son los encoders absolutos que generan multi-bits digitales, que indican directamente su posición actual. (DUNN, 2009)



Figura 20. Estructura externa de un Encoder Óptico Incremental
(MORENO E. G., 2011)

✚ CONTADOR ELECTRÓNICO

Un contador puede ser usado para contar una serie de acciones o eventos. Existen diversas aplicaciones industriales en donde es necesario contabilizar estos eventos y por lo tanto se requiere de un contador, en nuestro caso será un contador electrónico digital. El contador de metros por contacto es un módulo de medida compuesto por un sistema de soporte del encoder de medición como se muestra en la Figura 21.

El generador de pulsos (encoder) proporciona un tren de pulsos al contador electrónico para la visualización de metros de fleje bobinado, por medio de este dispositivo se puede prefijar la selección de metros en el contador para controlar cantidades determinadas de metros.

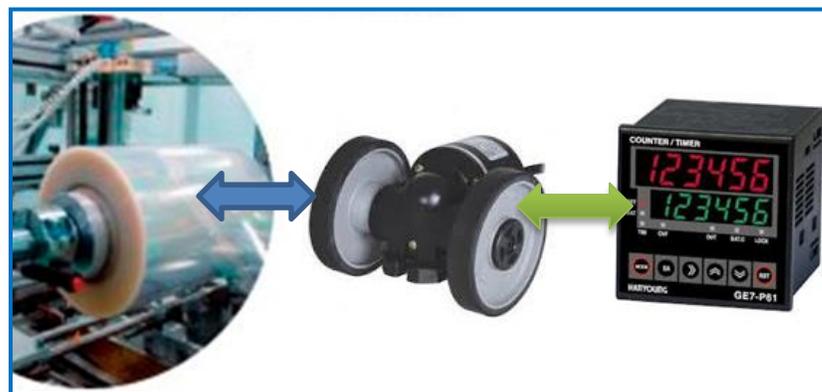


Figura 21. Contador Electrónico de Metros

B. MOTORES ELÉCTRICOS

Los motores eléctricos son máquinas eléctricas que transforman en energía mecánica la energía eléctrica que absorben por sus bornes. Atendiendo al tipo de corriente utilizada para su alimentación se clasifican en motores de corriente continua y motores de corriente alterna como se muestra en la Figura 22.

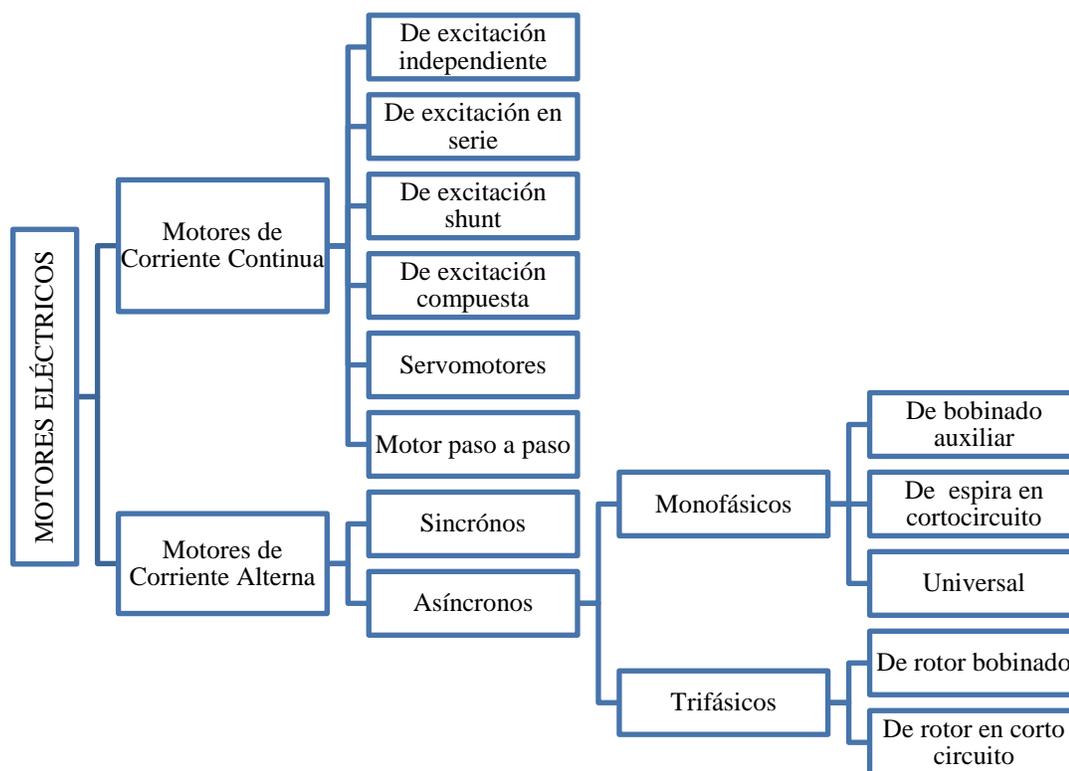


Figura 22. Clasificación de los Motores Eléctricos por su tipo de Corriente
(A.E, 2004)

✚ MOTOR PASO A PASO

Es un motor de corriente continua que transforma pulsos electrónicos en un desplazamiento angular específico, es decir, este tipo de motor se mueve un paso por cada pulso que le sea aplicado. Dependiendo del fabricante este paso puede variar desde ángulos muy pequeños por ejemplo $1,8^\circ$ (se requerirían 200 pasos para completar 360°) hasta ángulos grandes, por ejemplo de 90° (se requerirían 4 pasos para completar 360°). Este tipo de motor presenta alta precisión en su giro y por tanto en el desplazamiento y posición angular. Por otra parte presenta mayores torques a velocidades bajas.

A diferencia de otro tipo de motores, estos motores pueden quedar enclavados en la posición inicial, o quedar libres, todo depende de si sus bobinas se encuentran o no energizadas. Un motor de paso a paso puede girar, en ambos sentidos un número exacto de grados con incrementos mínimos determinados por el diseño. (A.E, 2004)

✚ CONTROLADOR PARA MOTOR PASO A PASO (MICRO DRIVE)

Es un dispositivo electrónico que permite controlar un motor paso a paso mediante una técnica de micro-pasos para lograr sus objetivos de control. Además de proporcionar una posición exacta y movimiento suave, los accionamientos de micro-pasos pueden ser utilizados para proporcionar un movimiento en unidades convenientes.

Mediante este tipo de control se puede lograr una serie de ventajas como son:

- ✚ Incremento de la resolución del motor paso a paso a controlar en este caso de acuerdo a la aplicación.
- ✚ Desplazamiento más uniforme del eje del motor, debido al aumento de resolución del mismo.
- ✚ Eliminación de problemas de resonancia al generarse un movimiento más continuo del eje del motor.
- ✚ Obtención de un torque más uniforme en el motor.

El driver cuenta con dos señales de control PULL y DIR como se muestra en la Figura 23:



Figura 23. Estructura externa del Controlador del Motor Paso a Paso

- ✚ **PULL (Señal de Pulso):** esta señal es usada para controlar la posición y velocidad del motor, una vez que el driver recibe una señal de pulso, el motor se desplazara la distancia del ángulo por paso configurado. La posición del motor puede ser controlada con precisión controlado el número de pulsos en el driver, la corriente

requerida es de 7 – 16 mA y la duración del pulso debe ser de 10 μ s para una respuesta confiable.

✚ **DIR (Señal de Dirección):** esta señal es utilizada para controlar el sentido de rotación del motor, cuando el terminal está en un nivel de voltaje alto el motor girará en un sentido y en el nivel bajo girará en el sentido contrario. Además se debe considerar que la dirección de rotación está relacionada con el cableado de las bobinas del motor, así el intercambio de la conexión producirá la inversión en el movimiento.

✚ **FUENTE DE ALIMENTACIÓN PARA EL CONTROLADOR**

Una fuente de alimentación es un dispositivo que se encarga de suministrar la tensión o corriente necesaria para un óptimo funcionamiento del dispositivo del control del motor paso a paso. Esto se puede realizar suministrando una tensión o corriente constante, dependiendo del dispositivo en este caso el driver trabaja con un voltaje de 20 – 70 Vdc, corriente de 0,35 – 5 A, para nuestra aplicación emplearemos una fuente de voltaje de 24 Vdc y 10 A la misma que nos permitirá alimentar dos dispositivos de control como se muestra en la Figura 24.

La fuente de alimentación debe cumplir con algunas características al ser una aplicación en un entorno industrial entre esos tenemos:

- ✚ Aptas para su uso en ambientes agresivos
- ✚ Cumplir con los estándar eléctricos de seguridad
- ✚ Protección contra daños por sobrecarga de corriente



Figura 24. Fuente de Voltaje DC 24 V 10 A para Dispositivos de Control de Motor Paso a Paso

✚ MOTOR ASÍNCRONO TRIFÁSICO

Los motores asíncronos trifásicos son los motores de corriente alterna más empleados por su fiabilidad, desarrollan sus funciones durante muchos años con intervenciones de mantenimiento reducidas y se adaptan a distintas prestaciones en función a sus exigencias, cubriendo tanto aplicaciones de producción como de servicio. (M.P.Kostenko, 1979)

✚ CONTROL DE VELOCIDAD DE UN MOTOR TRIFÁSICO

El motor de corriente alterna, a pesar de ser un motor robusto, de poco mantenimiento, liviano e ideal para la mayoría de las aplicaciones industriales, tiene el inconveniente de ser un motor rígido en cuanto a la posibilidad de variar su velocidad. La velocidad del motor asincrónico depende de la forma constructiva del motor y de la frecuencia de alimentación.

Como la frecuencia de alimentación que entregan las compañías de electricidad es constante, la velocidad de los motores asincrónicos es constante, salvo que se varíe el

número de polos, el deslizamiento o la frecuencia. Se puede variar la velocidad del motor trifásico de inducción actuando sobre las variables de las que depende velocidad de rotación, frecuencia y deslizamiento.

✚ VARIADOR DE FRECUENCIA

Como la frecuencia de alimentación que entregan las compañías de electricidad es constante, la velocidad de los motores asíncronos es constante, salvo que se varié el número de polos o la frecuencia. El método más eficiente de controlar la velocidad de un motor eléctrico es por medio de un variador de frecuencia.

Los variadores de frecuencia son dispositivos electrónicos que permiten variar la velocidad y la cupla de los motores asíncronos trifásicos, convirtiendo las magnitudes fijas de frecuencia y tensión de la red en magnitudes variables. Se utilizan estos equipos como se muestra en la Figura 25 cuando las necesidades de la aplicación sean:

- ✚ Dominio de par y velocidad.
- ✚ Regulación sin golpes mecánicos.
- ✚ Movimientos complejos.
- ✚ Mecánica delicada.



Figura 25. Aplicaciones de Control con Variadores de Velocidad
(MORENO E. G., 2011)

3.1.2.4. SEÑALIZACIÓN Y VISUALIZACIÓN

La señalización de los equipos consiste en testigos, generalmente luminosos que se ponen en las instalaciones para poder disponer de información del estado del funcionamiento de la misma. Por ejemplo una luz roja indica una señal de emergencia, una amarilla de alerta de un funcionamiento anormal.

El significado de los colores es igual en otros elementos como pulsadores, así un pulsador rojo es elemento que hay que pulsar en caso de peligro, un verde para poner en funcionamiento. Cuando es necesario monitorizar los parámetros o variables de un proceso es necesario visualizadores numéricos y alfanuméricos, estos pueden mostrar por ejemplo la cuenta del número de metros transcurridos de fleje como se observa en la Figura 26.



Figura 26. Señalización del Tablero de Control de la Bobinadora y Pantalla de Interfaz.

CAPÍTULO III

DISEÑO DE HARDWARE Y DESARROLLO DE SOFTWARE

En el presente capítulo se detallará cada uno de los procedimientos considerados para la puesta en marcha del sistema de bobinado de fleje tipo PP de la empresa CODIEMPAQUES DEL ECUADOR CIA. LTDA. El proyecto propone impulsar la productividad y confiabilidad a través de la puesta en marcha del sistema de bobinado.

Las necesidades del mercado actual de productos terminados con garantías de calidad y cantidad a precios competitivos, exige modificar procesos industriales en producción, empaque y distribución, para lo cual se incluye el área de automatización a los diferentes procesos mediante instrumentos de medición y control.

1. ANÁLISIS MORFOLÓGICO

Es una técnica sistemática para la obtención de una matriz de prioridades, matriz de factores o cuadro morfológico donde se enumeran las funciones, atributos o variables fundamentales del objeto a diseñar y en las siguientes columnas se relacionan todas las posibles alternativas o soluciones de cada una de las funciones.

El desarrollo de la matriz morfológica consiste en seleccionar los parámetros más importantes del problema luego buscar la mayor cantidad de alternativas para cada parámetro. En una matriz morfológica, cada función es esencial e independiente del resto. Para elegir la opción más favorable dentro del estudio, es necesario tomar en cuenta aquellas variables y detalles del proceso de bobinado, para lo que realizará una ponderación de los parámetros según su importancia. En todas las soluciones de ingeniería intervienen múltiples aspectos que hay que considerar de forma global, en todos los métodos de evaluación aparece el problema de la ponderación de criterios. Existen numerosos métodos de evaluación que pueden agruparse en:

- ✚ **Métodos ordinales.**- El evaluador clasifica por orden las diferentes soluciones alternativas para cada criterio.
- ✚ **Métodos cardinales.**- El evaluador debe cuantificar sus juicios en relación a la efectividad de las alternativas y a la importancia de los criterios. Estos métodos facilitan la integración de las evaluaciones parciales en un resultado global.

La selección de la opción se realizará mediante el método de ordinal corregido de criterios ponderados, porque sin necesidad de evaluar parámetros de cada propiedad y sin tener que estimar numéricamente el peso de cada criterio se obtienen resultados globales suficientemente significativos. Se basa en tablas donde cada alternativa o solución, se compara con las restantes alternativas o soluciones y se asignan los valores siguientes:

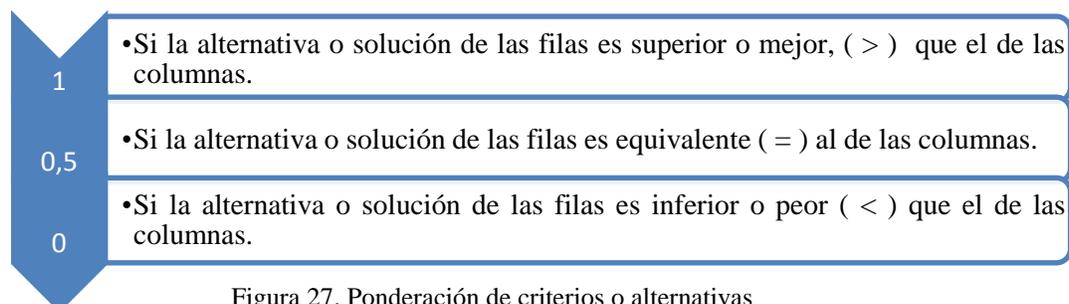


Figura 27. Ponderación de criterios o alternativas

Para cada alternativa solución, se suman los valores asignados en relación a las alternativas restantes a las que se añade una unidad para evitar que el criterio o solución menos favorable tenga una valoración nula; después, en otra columna se calculan los valores ponderados para cada alternativa. La evaluación total para cada solución resulta de la suma de productos de los pesos específicos de cada solución por el peso específico de la respectiva alternativa.

Para el diseño del sistema de bobinado se ha dividido en los siguientes procesos:

- ✚ Proceso de Enrollado
- ✚ Proceso de Posicionamiento del guía fleje

1.1. PROCESO DE ENROLLAMIENTO DE FLEJE EN EL CARRETE

Este proceso consiste en enrollar el fleje plástico de tipo PP sobre un carrete de cartón, accionado por un motor trifásico, el cual transmite el movimiento hacia la parte final de la aplicación que es el carrete mediante una reducción mecánica.

En el proceso, se realiza un control de torque para la regulación de la tensión de bobinado; cuando la tensión es alta se produce un bobinado desigual y deformación en el fleje, por otra parte cuando la tensión es baja, el rollo de fleje bobinado se desenrolla fácilmente.

Al controlar la variable de torque también estamos controlando la velocidad de enrollamiento del fleje. En la Figura 28 se observa que el sentido de rotación es contrario a la dirección de la línea de producción de fleje.



Figura 28. Rotación de eje a velocidad variable para enrollamiento de fleje tipo PP de 12 mm

El proceso de enrollado utiliza motores para la transmisión de potencia y mecanismos para la transmisión de movimiento; mediante criterios de diseño se obtendrá el motor y la transmisión de movimiento más adecuada.

1.1.1. TRANSMISIÓN DE POTENCIA

Los criterios que permitirán escoger el motor más adecuado son las siguientes:

- ✚ Precio
- ✚ Control
- ✚ Disponibilidad
- ✚ Mantenimiento
- ✚ Alimentación

1.1.1.1. ALTERNATIVA A: MOTOR DE INDUCCIÓN

Los motores asíncronos o de inducción son un tipo de motor de corriente alterna en el que la corriente eléctrica, en el rotor, necesaria para producir torsión es inducida por inducción electromagnética del campo magnético de la bobina del estator.

El motor asíncrono trifásico tiene por dos partes fundamentales:

- ✚ **Estator:** Es la parte fija del motor, está compuesta por la carcasa de acero que contiene al núcleo magnético del inductor.
- ✚ **Rótor:** Es la parte móvil del motor. Acoplado al eje se sitúa el núcleo rotórico, en cuya superficie de alojan cierto número de barras conductoras cortocircuitadas en sus extremos mediante anillos conductores.

La Figura 29 presenta ventajas y desventajas de los motores de inducción.

| VENTAJAS | DESVENTAJAS |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • Económicos • Fácilidad de control a traves de VDF • Altas velocidades dependiendo de numero de polos y frecuencia de red • Alta disponibilidad en el mercado | <ul style="list-style-type: none"> • Calentamiento excesivo requieren ventiladores • Torque bajo en velocidades bajas |

Figura 29.- Ventajas y desventajas del motor de inducción

1.1.1.2. ALTERNATIVA B: MOTOR DC

Un motor eléctrico de Corriente Continua es esencialmente una máquina que convierte energía eléctrica en movimiento o trabajo mecánico, a través de medios electromagnéticos.

| VENTAJAS | DESVENTAJAS |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • Facilidad de control • Amplio rango de velocidades • Media disponibilidad en el mercado • Alta capacidad de sobrecarga | <ul style="list-style-type: none"> • Costo económico alto • Mantenimiento de escobillas difícil • Disponibilidad de suministro eléctrico costoso y específico • Baja precisión |

Figura 30.- Ventajas y desventajas del motor DC

Se utilizan en casos en los que es importante el poder regular continuamente la velocidad del motor, además, se utilizan en aquellos casos en los que es imprescindible utilizar corriente directa, como es el caso de motores accionados por pilas o baterías. Entre las principales características que determinan a los motores de corriente continua, en la Figura 30 se compara ventajas y desventajas.

1.1.1.3. ALTERNATIVA C: SERVOMOTOR

Es un motor que puede ser controlado en su velocidad de funcionamiento y en la posición dentro de un rango de operación para ejecutar la actividad requerida. De esta manera un servomotor puede ser de corriente continua o alterna sin embargo en la actualidad los más usados son de corriente alterna.

| VENTAJAS | DESVENTAJAS |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • Torque medio • Disponibilidad en el mercado • Fácil mantenimiento | <ul style="list-style-type: none"> • Desgaste de dientes de banda acelerado • Dificultad en alineación de ejes |

Figura 31.- Ventajas y desventajas del servomotor

El servomotor es un dispositivo compuesto esencialmente de dos partes el motor y el sensor encoder para el control de movimiento. La Figura 31 compara las ventajas y desventajas de los servomotores a través del esquema.

1.1.1.4. SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA PARA TRANSMISIÓN DE POTENCIA EN EL PROCESO DE ENROLLADO

De acuerdo a los criterios mencionados para la selección de la alternativa de transmisión de potencia, por medio del método ordinal corregido de criterios ponderados se establece en la Tabla 1 el peso específico para cada criterio de selección.

Tabla 1

Evaluación de pesos específicos para cada criterio de selección

| Precio > Control > Disponibilidad > Alimentación = Mantenimiento | | | | | | | |
|--|--------|---------|------|--------------|-------|------------|------|
| Criterio | Precio | Control | Disp | Alimentación | Mant. | $\Sigma+1$ | Peso |
| Precio | | 1 | 1 | 1 | 1 | 5 | 0,33 |
| Control | 0 | | 1 | 1 | 1 | 4 | 0,27 |
| Disp. | 0 | 0 | | 1 | 1 | 3 | 0,2 |
| Alimentación | 0 | 0 | 0 | | 0,5 | 1,5 | 0,1 |
| Mant. | 0 | 0 | 0 | 0,5 | | 1,5 | 0,1 |
| SUMA | | | | | | 15 | 1 |

La Tabla 2 muestra la evaluación del criterio precio desde el más económico hasta la alternativa más costosa.

Tabla 2

Evaluación del criterio de precio

| Motor de Inducción > Motor DC > Servomotor | | | | | |
|--|--------------------|----------|------------|------------|------|
| Criterio | Motor de Inducción | Motor DC | Servomotor | $\Sigma+1$ | Peso |
| Motor de Inducción | | 1 | 1 | 3 | 0,50 |
| Motor DC | 0 | | 1 | 2 | 0,33 |
| Servomotor | 0 | 0 | | 1 | 0,17 |
| SUMA | | | | 6 | 1 |

La Tabla 3 muestra la evaluación del criterio de control desde el punto de vista de la alternativa más simple a la más compleja.

Tabla 3
Evaluación del criterio de control

| Motor DC > Motor de inducción > Servomotor | | | | | |
|--|--------------------|----------|------------|------------|------|
| Criterio | Motor de Inducción | Motor DC | Servomotor | $\Sigma+1$ | Peso |
| Motor DC | | 1 | 1 | 3 | 0,50 |
| Motor de inducción | 0 | | 1 | 2 | 0,33 |
| Servomotor | 0 | 0 | | 1 | 0,17 |
| SUMA | | | | 6 | 1 |

La Tabla 4 muestra la evaluación del criterio de disponibilidad desde el punto de vista de la alternativa más comercial en el mercado industrial.

Tabla 4
Evaluación del criterio de disponibilidad

| Motor de Inducción > Motor DC = Servomotor | | | | | |
|--|--------------------|----------|------------|------------|------|
| Criterio | Motor de Inducción | Motor DC | Servomotor | $\Sigma+1$ | Peso |
| Motor de Inducción | | 1 | 1 | 3 | 0,50 |
| Motor DC | 0 | | 0,5 | 1,5 | 0,25 |
| Servomotor | 0 | 0,5 | | 1,5 | 0,25 |
| SUMA | | | | 6 | 1 |

La Tabla 5 muestra la evaluación del criterio de alimentación desde el punto de vista de fuente de alimentación más común en el sector industrial y costos de implementación de sistemas de suministro eléctrico específico para cada motor.

Tabla 5
Evaluación del criterio de alimentación

| Motor de Inducción = Servomotor > Motor DC | | | | | |
|--|--------------------|----------|------------|------------|------|
| Criterio | Motor de Inducción | Motor DC | Servomotor | $\Sigma+1$ | Peso |
| Motor de Inducción | | 1 | 0,5 | 2,5 | 0,41 |
| Motor DC | 0 | | 0 | 1 | 0,17 |
| Servomotor | 0,5 | 1 | | 2,5 | 0,42 |
| SUMA | | | | 6 | 1 |

La Tabla 6 muestra la evaluación del criterio de mantenimiento desde el punto de vista de acciones necesarias para el mantenimiento y vida útil del motor.

Tabla 6
Evaluación del criterio de mantenimiento

| Motor de Inducción = Servomotor > Motor DC | | | | | |
|--|--------------------|----------|------------|------------|------|
| Criterio | Motor de Inducción | Motor DC | Servomotor | $\Sigma+1$ | Peso |
| Motor de Inducción | | 1 | 0,5 | 2,5 | 0,41 |
| Motor DC | 0 | | 0 | 1 | 0,17 |
| Servomotor | 0 | 0 | | 1 | 0,42 |
| SUMA | | | | 6 | 1 |

Según Tabla 7 se concluye que el motor de inducción es la alternativa que más se ajusta a las necesidades para el proceso de enrollado según la ponderación de criterios.

Tabla 7
Comparación cuantitativa de alternativas y criterios para la selección de motor de enrollado

| Alternativa | Precio | Control | Disp. | Alim | Mant | Prioridad | Σ |
|--------------------|--------|---------|-------|------|------|-----------|----------|
| Motor de Inducción | 0,165 | 0,135 | 0,100 | 0,04 | 0,04 | 1 | 0,480 |
| Motor DC | 0,102 | 0,088 | 0,05 | 0,02 | 0,02 | 2 | 0,280 |
| Servomotor | 0,06 | 0,05 | 0,05 | 0,04 | 0,04 | 3 | 0,240 |
| SUMA | | | | | | 1 | |

1.1.2. TRANSMISIÓN DE MOVIMIENTO

Los criterios que permitirán escoger el mecanismo más apropiado para transmitir el movimiento desde el motor hacia el eje de enrolamiento del fleje son las siguientes:

- ✚ Costos
- ✚ Instalación
- ✚ Disponibilidad
- ✚ Desgaste

1.1.2.1. ALTERNATIVA A: POLEAS - BANDA

Los sistemas de transmisión de poleas se emplean para transmitir la potencia mecánica proporcionada por el eje del motor entre dos ejes separados entre sí por una cierta distancia.

La transmisión del movimiento por correas se debe al rozamiento éstas sobre las poleas, de manera que ello sólo será posible cuando el movimiento rotórico y de torsión que se ha de transmitir entre ejes sea inferior a la fuerza de rozamiento. La Figura 32 presenta ventajas y desventajas de los mecanismos polea banda.

| VENTAJAS | DESVENTAJAS |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • Económicas • Fácil instalación • Alta disponibilidad en el mercado • Poco desgaste | <ul style="list-style-type: none"> • Deslizamiento entre poleas y banda • Dificultad para el tenzamiento de la banda • Dificultad para alinear ejes |

Figura 32.- Ventajas y desventajas del mecanismo polea- banda

1.1.2.2. ALTERNATIVA B: ENGRANAJE- ENGRANAJE

Los engranajes de diente recto son más simples de producir y por ello más baratos, la transmisión del movimiento se realiza por medio de los dientes, quienes se empujan sin resbalar. La Figura 33 presenta ventajas y desventajas de los mecanismos engranaje-engranaje.

| VENTAJAS | DESVENTAJAS |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • Mayor contacto entre engranajes, mayor potencia • Media disponibilidad en el mercado • Altos pares de fuerza | <ul style="list-style-type: none"> • Desgaste de partes en contacto acelerado • Elevado costo de fabricación |

Figura 33.- Ventajas y desventajas del servomotor

1.1.2.3. ALTERNATIVA C: ENGRANAJE- BANDA

Los engranajes son ruedas dentadas que encajan entre sí, de modo que, unas ruedas transmiten el movimiento circular a las siguientes. El tamaño de los dientes de todos los engranajes debe ser igual. La Figura 34 presenta ventajas y desventajas de los mecanismos engranaje-banda.

| VENTAJAS | DESVENTAJAS |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • Torque medio • Disponibilidad en el mercado • Fácil mantenimiento | <ul style="list-style-type: none"> • Desgaste de dientes de banda acelerado • Dificultad en alineación de ejes |

Figura 34.- Ventajas y desventajas del servomotor

1.1.2.4. SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA PARA MECANISMOS DE TRANSMISIÓN DE MOVIMIENTO EN EL PROCESO DE ENROLLADO

De acuerdo a los criterios mencionados para la selección de la alternativa de mecanismos de transmisión de movimiento, por medio del método ordinal corregido de criterios ponderados se establece en la el peso específico para cada criterio de selección.

Tabla 8

Evaluación de pesos específicos para cada criterio de selección

| Costos > Instalación = Disponibilidad > Desgaste | | | | | | |
|--|--------|-------------|-------|----------|------------|------|
| Criterio | Costos | Instalación | Disp. | Desgaste | $\Sigma+1$ | Peso |
| Costos | 1 | 1 | 1 | 1 | 4 | 0,40 |
| Instalación | 0 | 1 | 0,5 | 1 | 2,5 | 0,25 |
| Disp. | 0 | 0,5 | 1 | 1 | 2,5 | 0,25 |
| Desgaste | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0,10 |
| SUMA | | | | | 10 | 1 |

La Tabla 9 muestra la evaluación del criterio precio desde el más económico hasta la alternativa más costosa.

Tabla 9
Evaluación del criterio de precio

| Polea - Banda > Engranaje - Banda > Engranaje – Engranaje | | | | | |
|---|--------------|--------------------------|------------------|------------|------|
| Criterio | Polea -Banda | Engranaje - Engranaje | Engranaje -Banda | $\Sigma+1$ | Peso |
| Poleas - Banda | | 1 | 1 | 3 | 0,50 |
| Engranaje - Engranaje | 0 | | 0 | 1 | 0,17 |
| Engranaje - Banda | 0 | 1 | | 2 | 0,33 |
| SUMA | | | | 6 | 1 |

La Tabla 10 muestra la evaluación del criterio de instalación desde el más sencillo hasta la alternativa más costosa.

Tabla 10
Evaluación del criterio de instalación

| Polea - Banda = Engranaje - Banda > Engranaje – Engranaje | | | | | |
|---|-------------|-------------------------|---------------------|------------|------|
| Criterio | Polea-Banda | Engranaje- Engranaje | Engranaje- Banda | $\Sigma+1$ | Peso |
| Poleas - Banda | | 1 | 0,5 | 2,5 | 0,42 |
| Engranaje - Engranaje | 0 | | 0 | 1 | 0,17 |
| Engranaje - Banda | 0,5 | 1 | | 2,5 | 0,41 |
| SUMA | | | | 6 | 1 |

La Tabla 11 muestra la evaluación del criterio disponibilidad de engranajes y bandas en el mercado.

Tabla 11
Evaluación del criterio de disponibilidad

| Polea - Banda = Engranaje - Banda > Engranaje – Engranaje | | | | | |
|---|-----------------|-------------------------|---------------------|------------|------|
| Criterio | Polea- Banda | Engranaje- Engranaje | Engranaje- Banda | $\Sigma+1$ | Peso |
| Poleas - Banda | | 0,5 | 1 | 2,5 | 0,42 |
| Engranaje - Engranaje | 0 | | 0 | 1 | 0,17 |
| Engranaje - Banda | 0,5 | 1 | | 2,5 | 0,41 |
| SUMA | | | | 6 | 1 |

La Tabla 12 muestra la evaluación del criterio de desgaste ordenada desde el más resistente.

Tabla 12
Evaluación del criterio de desgaste

| Polea - Banda = Engranaje - Banda > Engranaje – Engranaje | | | | | |
|---|-------------|---------------------|-----------------|------------|------|
| Criterio | Polea-Banda | Engranaje-Engranaje | Engranaje-Banda | $\Sigma+1$ | Peso |
| Poleas - Banda | | 1 | 0,5 | 2,5 | 0,42 |
| Engranaje - Engranaje | 0 | | 0 | 1 | 0,17 |
| Engranaje - Banda | 0,5 | 1 | | 2,5 | 0,41 |
| SUMA | | | | 6 | 1 |

Según Tabla 13 se concluye que el mecanismo de transmisión de movimiento polea-banda es la alternativa que más se ajusta a las necesidades para el proceso de enrollado según la ponderación de criterios.

Tabla 13
Comparación cuantitativa de alternativas y criterios para la selección de motor de enrollado

| Alternativa | Costo | Instal | Disp | Desgaste | Prioridad | Σ |
|-----------------------------|-------|--------|-------|----------|-----------|----------|
| Polea- Banda | 0,200 | 0,105 | 0,105 | 0,04 | 1 | 0,450 |
| Engranaje- Banda | 0,06 | 0,04 | 0,10 | 0,04 | 3 | 0,24 |
| Engranaje- Engranaje | 0,120 | 0,100 | 0,04 | 0,05 | 2 | 0,31 |
| SUMA | | | | | | 1 |

1.2. PROCESO DE POSICIONAMIENTO DEL FLEJE EN EL CARRETE

Para este proceso se usa un motor a pasos y un husillo de bolas como actuador, el cual posiciona la guía del fleje consecutivamente vuelta tras vuelta a lo largo del carrete, mediante la resolución del mismo se obtiene una precisión de 5 mm por vuelta del motor a pasos.

Adicionalmente el husillo es referenciado utilizando un sensor inductivo colocado en uno de los extremos de la estructura donde se desplaza el husillo.

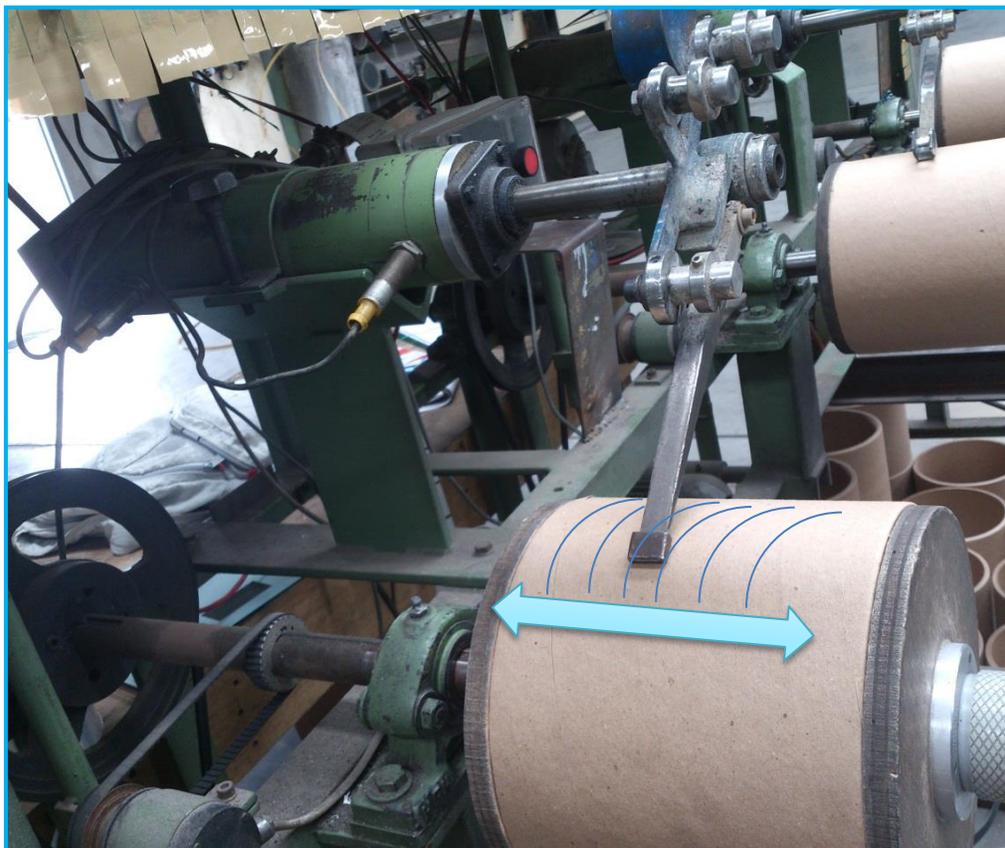


Figura 35. Posicionamiento de la guía a través de husillo de bolas a lo largo del carrete de cartón.

En este proceso intervienen tres tipos de control, posición, velocidad y cambio de giro, a lo largo del documento se describe los algoritmos desarrollados para cada uno de ellos. En la Figura 35 se observa el posicionamiento del guía a lo largo del carrete.

El proceso de posicionamiento del guía fleje utiliza motores para la transmisión de potencia y mecanismos para la transmisión de movimiento, mediante criterios de diseño se obtendrá el motor y la transmisión de movimiento más adecuado.

1.2.1. TRANSMISIÓN DE POTENCIA

Los criterios que permitirán escoger el motor más adecuado para el posicionamiento del guía fleje son las siguientes:

- ✚ Precisión
- ✚ Control
- ✚ Precio
- ✚ Mantenimiento
- ✚ Alimentación

1.2.1.1. ALTERNATIVA A: MOTOR A PASOS

Un motor paso a paso es un dispositivo electromecánico que convierte una señal de pulsos eléctricos en movimientos angulares que dependen de sus bobinas.



Figura 36.- Ventajas y desventajas del servomotor

Su funcionamiento consiste en la energización de bobinas que atraen magnéticamente al rotor, de esta manera permite una ubicación en función de la activación de las bobinas. En la Figura 36 se muestra las ventajas y desventajas de motor a pasos.

1.2.1.2. ALTERNATIVA B: SERVOMOTOR

La Figura 37 muestra a través del esquema ventajas y desventajas de servomotor.

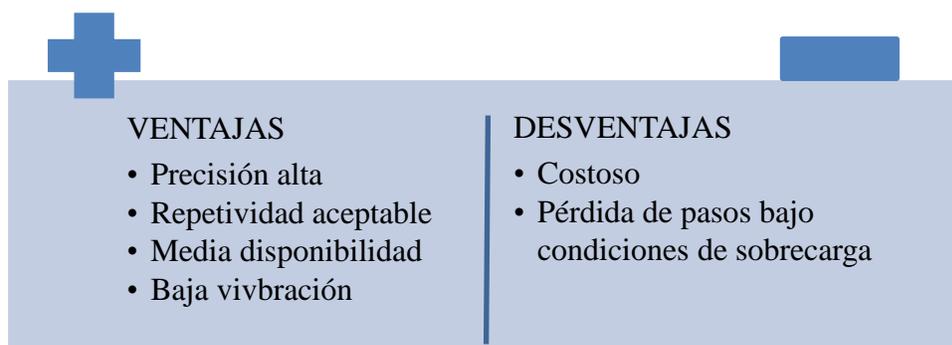


Figura 37.- Ventajas y desventajas del servomotor

1.2.1.3.ALTERNATIVA C: MOTOR DC

La Figura 38 muestra a través del esquema ventajas y desventajas de motor DC.

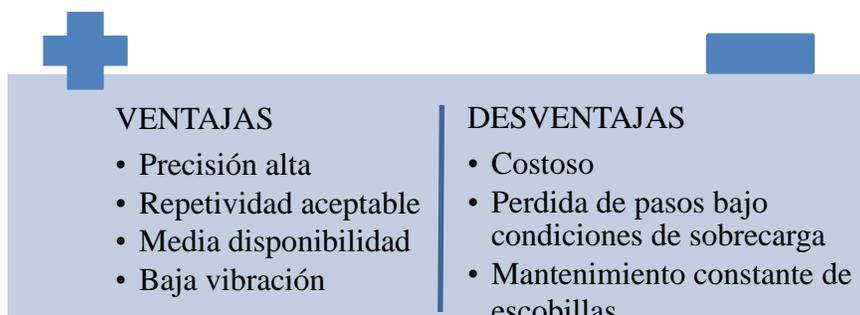


Figura 38.- Ventajas y desventajas del servomotor

1.2.1.4. SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA PARA TRANSMISIÓN DE POTENCIA EN EL PROCESO DE ENROLLADO

De acuerdo a los criterios mencionados para la selección de la alternativa de transmisión de potencia, por medio del método ordinal corregido de criterios ponderados se establece en la Tabla 14 el peso específico para cada criterio de selección.

Tabla 14

Evaluación de pesos específicos para cada criterio de selección de motor en proceso de enrollado del fleje

| Precisión = Control > Precio > Disponibilidad = Alimentación | | | | | | | |
|--|--------|---------|-------|------|--------------|------------|------|
| Criterio | Precio | Control | Disp. | Mant | Alimentación | $\Sigma+1$ | Peso |
| Precisión | | 0,5 | 1 | 1 | 1 | 4,5 | 0,3 |
| Control | 0,5 | | 1 | 1 | 1 | 4,5 | 0,3 |
| Precio | 0 | 0 | | 1 | 1 | 3 | 0,2 |
| Disponibilidad | 0 | 0 | 0 | | 0,5 | 1,5 | 0,1 |
| Alimentación | 0 | 0 | 0 | 0,5 | | 1,5 | 0,1 |
| SUMA | | | | | | 15 | 1 |

La Tabla 15 muestra la evaluación del criterio precisión desde el más efectivo hasta el menos efectivo.

Tabla 15

Evaluación del criterio de precisión

| Servomotor > Motor a Pasos > Motor DC | | | | | |
|---------------------------------------|---------------|----------|------------|------------|------|
| Criterio | Motor a pasos | Motor DC | Servomotor | $\Sigma+1$ | Peso |
| Motor a Pasos | | 1 | 0 | 2 | 0,33 |
| Motor DC | 0 | | 0 | 1 | 0,17 |
| Servomotor | 1 | 1 | | 3 | 0,5 |
| SUMA | | | | 6 | 1 |

La Tabla 16 muestra la evaluación del criterio control desde el más complejo hasta el más sencillo de controlar.

Tabla 16

Evaluación del criterio de control

| Servomotor = Motor a Pasos > Motor DC | | | | | |
|---------------------------------------|---------------|----------|------------|------------|------|
| Criterio | Motor a pasos | Motor DC | Servomotor | $\Sigma+1$ | Peso |
| Motor a Pasos | | 1 | 0,5 | 2,5 | 0,42 |
| Motor DC | 0 | | 0 | 1 | 0,17 |
| Servomotor | 0,5 | 1 | | 2,5 | 0,41 |
| SUMA | | | | 6 | 1 |

La Tabla 17 muestra la evaluación del criterio precio desde el más económico hasta el más costoso.

Tabla 17
Evaluación del criterio de precio

| Motor a Pasos > Motor DC > Servomotor | | | | | |
|---------------------------------------|---------------|----------|------------|------------|------|
| Criterio | Motor a pasos | Motor DC | Servomotor | $\Sigma+1$ | Peso |
| Motor a Pasos | | 1 | 1 | 3 | 0,5 |
| Motor DC | 0 | | 1 | 2 | 0,33 |
| Servomotor | 0 | 0 | | 1 | 0,17 |
| SUMA | | | | 6 | 1 |

La Tabla 18 muestra la evaluación del criterio disponibilidad desde el más fácil de encontrar en el mercado local.

Tabla 18
Evaluación del criterio de disponibilidad

| Motor a Pasos > Servomotor = Motor DC | | | | | |
|---------------------------------------|---------------|----------|------------|------------|------|
| Criterio | Motor a pasos | Motor DC | Servomotor | $\Sigma+1$ | Peso |
| Motor a Pasos | | 1 | 0,5 | 2,5 | 0,42 |
| Motor DC | 0 | | 0,5 | 1,5 | 0,25 |
| Servomotor | 0 | 1 | | 2 | 0,33 |
| SUMA | | | | 6 | 1 |

La Tabla 19 muestra la evaluación del criterio alimentación desde la red de suministro eléctrico más común en las industrias locales.

Tabla 19
Evaluación del criterio de alimentación

| Servomotor > Motor a Pasos = Motor DC | | | | | |
|---------------------------------------|---------------|----------|------------|------------|------|
| Criterio | Motor a pasos | Motor DC | Servomotor | $\Sigma+1$ | Peso |
| Motor a Pasos | | 0,5 | 0 | 1,5 | 0,25 |
| Motor DC | 0,5 | | 0 | 1 | 0,17 |
| Servomotor | 1 | 1 | | 3,5 | 0,58 |
| SUMA | | | | 6 | 1 |

Según Tabla 20 se concluye que el motor a pasos es la alternativa que más se ajusta a las necesidades para el proceso de enrollado según la ponderación de criterios.

Tabla 20

Comparación cuantitativa de alternativas y criterios para la selección de motor de enrollado

| Alternativa | Precio | Control | Disp. | Alim | Mant | Prioridad | Σ |
|----------------------|--------|---------|-------|------|------|-----------|----------|
| Motor a pasos | 0,1 | 0,12 | 0,100 | 0,04 | 0,04 | 1 | 0,400 |
| Motor DC | 0,05 | 0,05 | 0,1 | 0,02 | 0,02 | 3 | 0,240 |
| Servomotor | 0,12 | 0,12 | 0,03 | 0,03 | 0,06 | 2 | 0,360 |
| SUMA | | | | | | 1 | |

1.2.2. TRANSMISIÓN DE MOVIMIENTO

Los criterios que permitirán escoger el mecanismo más apropiado para transmitir el movimiento desde el motor hacia el guía fleje son las siguientes:

- + Precisión
- + Instalación
- + Precio
- + Disponibilidad

1.2.2.1.ALTERNATIVA A: HUSILLO DE BOLAS

Conjunto formado por un husillo, una tuerca y bolas, capaz de transformar un movimiento de rotación en movimiento lineal y viceversa. Los elementos rodantes del conjunto son las bolas. Con elementos rodantes, la transmisión de husillo de bolas tiene un coeficiente de fricción sumamente bajo y tiene típicamente una eficiencia del 90%. Las fuerzas transmitidas se distribuyen entre un gran número de rodamientos de bolas, lo cual, comparativamente, produce una carga relativa baja por bola.

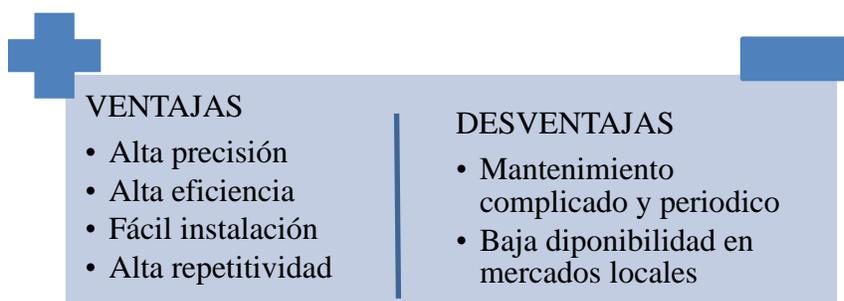


Figura 39.- Ventajas y desventajas del servomotor

1.2.2.2.ALTERNATIVA B: PIÑÓN – CREMALLERA

Este mecanismo permite transformar movimiento circular en movimiento lineal para mover puertas, accionar mecanismos y múltiples aplicaciones en máquinas de producción en línea. En la figura se muestra una cremallera conectada a un engrane cilíndrico de diente recto.

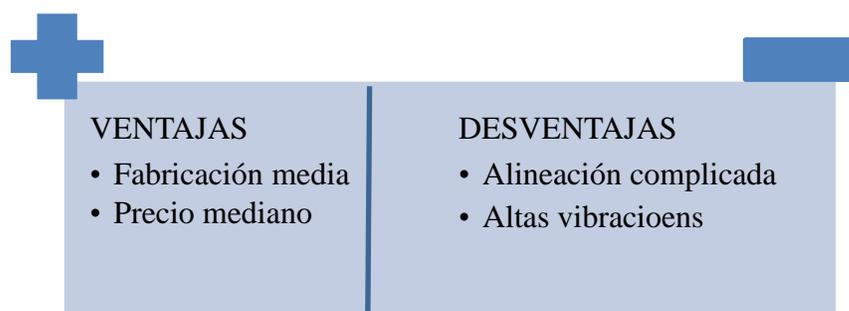


Figura 40.- Ventajas y desventajas del servomotor

1.2.2.3. SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA PARA MECANISMOS DE TRANSMISIÓN DE MOVIMIENTO EN EL PROCESO DE POSICIONAMIENTO DE GUIA FLEJE

De acuerdo a los criterios mencionados para la selección de la alternativa de mecanismos de transmisión de movimiento, por medio del método ordinal corregido de criterios ponderados se establece en la Tabla 21 el peso específico para cada criterio de selección.

Tabla 21

Evaluación de pesos específicos para cada criterio de selección

| Precisión > Instalación > Precio = Disponibilidad | | | | | | |
|---|-----------|-------------|--------|------|------------|------|
| Criterio | Precisión | Instalación | Precio | Disp | $\Sigma+1$ | Peso |
| Precisión | | 1 | 1 | 1 | 4 | 0,4 |
| Instalación | 0 | | 1 | 1 | 3 | 0,3 |
| Precio | 0 | 0 | | 0,5 | 1,5 | 0,15 |
| Disponibilidad | 0 | 0 | 0,5 | | 1,5 | 0,15 |
| SUMA | | | | | 10 | 1 |

La Tabla 22 muestra la evaluación del criterio precisión desde el más efectivo hasta el menos efectivo.

Tabla 22
Evaluación del criterio de precisión

| Husillo de bolas > Piñón-Cremallera | | | | |
|-------------------------------------|------------------|------------------|------------|------|
| Criterio | Husillo de bolas | Piñón-Cremallera | $\Sigma+1$ | Peso |
| Husillo de bolas | | 1 | 2 | 0,67 |
| Piñón-Cremallera | 0 | | 1 | 0,33 |
| SUMA | | | 3 | 1 |

La Tabla 23 muestra la evaluación del criterio instalación desde el más sencillo hasta el más complejo.

Tabla 23
Evaluación del criterio de instalación

| Husillo de bolas > Piñón-Cremallera | | | | |
|-------------------------------------|------------------|------------------|------------|------|
| Criterio | Husillo de bolas | Piñón-Cremallera | $\Sigma+1$ | Peso |
| Husillo de bolas | | 1 | 2 | 0,67 |
| Piñón-Cremallera | 0 | | 1 | 0,33 |
| SUMA | | | 3 | 1 |

La Tabla 24 muestra la evaluación del criterio de precio desde el más económico hasta el más costoso.

Tabla 24
Evaluación del criterio de precisión

| Piñón-Cremallera > Husillo de bolas | | | | |
|-------------------------------------|------------------|------------------|------------|------|
| Criterio | Husillo de bolas | Piñón-Cremallera | $\Sigma+1$ | Peso |
| Husillo de bolas | | 0 | 1 | 0,33 |
| Piñón-Cremallera | 1 | | 2 | 0,67 |
| SUMA | | | 3 | 1 |

La Tabla 25 muestra la evaluación del criterio de disponibilidad desde el más comercial en el mercado hasta el menos comercial.

Tabla 25
Evaluación del criterio de disponibilidad

| Piñón-Cremallera > Husillo de bolas | | | | |
|-------------------------------------|------------------|------------------|------------|------|
| Criterio | Husillo de bolas | Piñón-Cremallera | $\Sigma+1$ | Peso |
| Husillo de bolas | | 0 | 1 | 0,33 |
| Piñón-Cremallera | 1 | | 2 | 0,67 |
| SUMA | | | 3 | 1 |

Según Tabla 26 se concluye que el husillo de bolas es la alternativa que más se ajusta a las necesidades para el proceso de posicionamiento del guía fleje según la ponderación de criterios.

Tabla 26
Evaluación de pesos específicos para cada criterio de selección de transmisión de movimiento en el proceso de posicionamiento.

| Precisión > Instalación > Precio = Disponibilidad | | | | | | |
|---|-----------|-------------|--------|------|-----------|----------|
| Criterio | Precisión | Instalación | Precio | Disp | Prioridad | Σ |
| Husillo de bolas | 0,268 | 0,20 | 0,05 | 0,05 | 0,568 | 0,4 |
| Piñon-Cremallera | 0,132 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,432 | 0,3 |
| SUMA | | | | | 10 | 1 |

1.3.MATRIZ MORFOLÓGICA

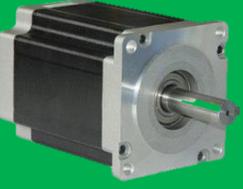
Mediante el análisis morfológico la alternativa A es la opción más adecuada de acuerdo a los criterios descritos anteriormente y posteriormente se procede con el dimensionamiento de los componentes eléctricos y mecánicos

1.4. ESPECIFICACIÓN DE ELEMENTOS Y DISPOSITIVOS PREVIO A LA PUESTA EN MARCHA DEL SISTEMA

De acuerdo al proceso de bobinado original del sistema es consecuente realizar un análisis previo del estado inicial del sistema, para lo cual se ha recogido los datos necesarios mediante tablas.

La Figura 41 muestra el estado del sistema de bobinado y los dispositivos de control y maniobras para el funcionamiento, el detalle de cada componente eléctrico y electrónico y mecánico para un bobinador se encuentra en la Tabla 28 y Tabla 29.

Tabla 27
Matriz morfológica de sistema de bobinado

| Proceso | Sistema | Alternativa A | Alternativa B | Alternativa C |
|-----------------|---------------------------|---|--|---|
| Enrollado | Transmisión de Potencia |  |  |  |
| | | Motor de Inducción | Motor DC | Servomotor |
| | Transmisión de Movimiento |  |  |  |
| | | Polea-Banda | Engranaje-Engranaje | Engranaje-Banda |
| Posicionamiento | Transmisión de Potencia |  |  |  |
| | | Motor a pasos | Motor DC | Servomotor |
| | Transmisión de Movimiento |  |  | |
| | | Husillo de bolas | Piñón-Cremallera | |

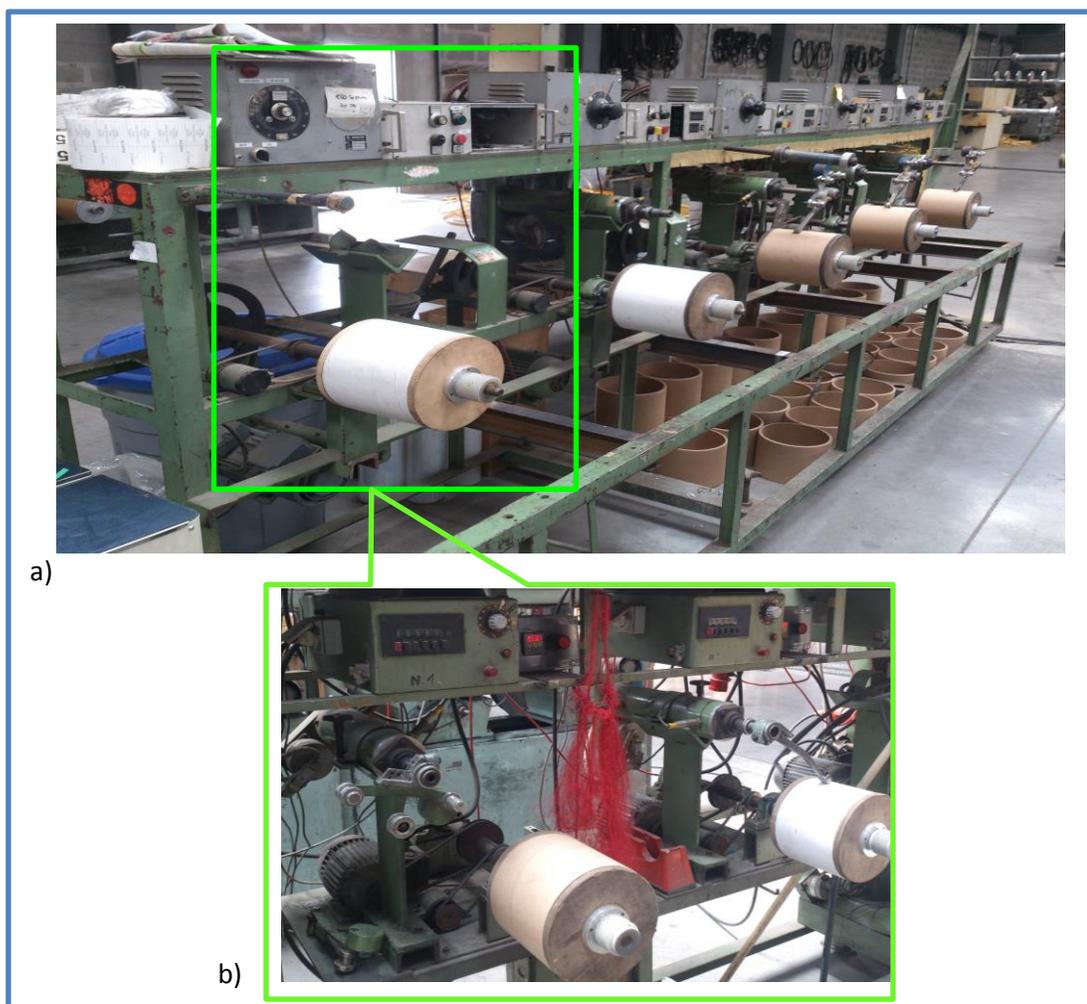


Figura 41. a) Sistema de bobinado completo para una línea de producción de cuatro flejes
b) Bobinadora Automática para dos carretes de fleje plástico tipo PP.

Tabla 28

Estado de los componentes eléctricos y electrónicos del sistema de bobinado

| COMPONENTES ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS | CARACTERÍSTICAS |
|---|--|
| <p data-bbox="521 1528 792 1560">Motor Enrollamiento</p>  | <p data-bbox="1027 1528 1230 1560">Marca: LENZE</p> <p data-bbox="1027 1562 1198 1593">Modelo: 07S4</p> <p data-bbox="1027 1596 1235 1627">Potencia: 1/2 HP</p> <p data-bbox="1027 1629 1279 1661">Voltaje: 380 Y VAC</p> <p data-bbox="1027 1663 1243 1694">Corriente: 0,42 A</p> <p data-bbox="1027 1696 1295 1728">Velocidad: 1200 RPM</p> <p data-bbox="1027 1730 1268 1761">Frecuencia: 50 HZ</p> <p data-bbox="1027 1764 1260 1795">Estado del equipo:</p> <p data-bbox="1027 1797 1344 1829">No Operativo – Remplazar</p> <p data-bbox="1211 1831 1360 1862">Continúa →</p> |

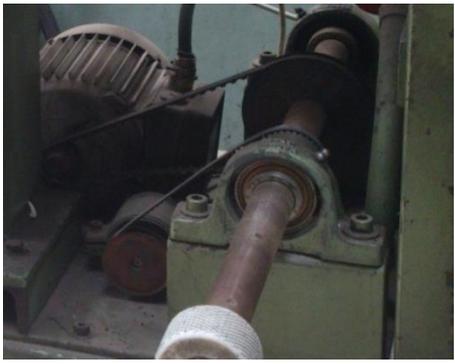
| | |
|--|--|
| <p style="text-align: center;">Motor Posicionamiento</p>  | <p>Marca: BAUTZ Modelo: HYD-3424-310A8 Voltaje: 24-75 Vdc Corriente: 3,1 A/Fase Pasos por vuelta: 200 Torque: 1,82 Nm</p> |
| <p style="text-align: center;">Sensor Encoder Incremental</p>  | <p>Marca: GRUWAMATIC Voltaje: 12-24 Vdc Señal de salida: Colector abierto Consumo de corriente: 100 mA</p> <p>Estado del equipo: No Operativo – Remplazar</p> |
| <p style="text-align: center;">Sensor Inductivo</p>  | <p>Marca: KURTL ELECTRONIC Modelo: A5 PNP/KF Voltaje: 10-30 Vdc Corriente: 300 mA</p> <p>Estado del componente: Operativo</p> |
| <p style="text-align: center;">Sensor Contador/ Temporizador Automático</p>  | <p>Marca: HANYOYUNG NUX Modelo: GE4-P61 Voltaje: 110 – 220 Vdc</p> <p>Estado del componente: Operativo</p> <p style="text-align: right;">Continúa →</p> |

| Unidad de Control y Potencia | |
|--|---|
|  | <p>Marca: CYCLOP Modelo: Sin modelo Voltaje: 440 Vdc</p> |
|  | <p>Estado del componente: No Operativo - Remplazar</p> |

Tabla 29

Estado de los componentes mecánicos del sistema de bobinado

| COMPONENTES MECÁNICOS | DESCRIPCIÓN |
|---|---|
| <p data-bbox="402 1289 802 1320">Transmisión Motor Trifásico</p>  | <p data-bbox="915 1346 1393 1430">Reducción Mecánica mediante banda en relación 1:5.</p> <p data-bbox="915 1455 1162 1486">Marca: Mitsubishi</p> <p data-bbox="915 1509 1256 1541">Modelo: 13 x 1016 A - 40</p> <hr/> <p data-bbox="915 1623 1230 1654">Estado de componente:</p> <p data-bbox="915 1677 1373 1709">Desgastado - Remplazar banda lisa</p> <p data-bbox="1247 1780 1393 1812" style="text-align: right;">Continúa →</p> |

| | |
|--|---|
| <p>Transmisión Motor a Pasos</p>  | <p>Reducción Mecánica mediante banda dentada en relación 2:1.</p> <p>Estado de componente: Desgastado – Reemplazar banda dentada</p> |
| <p>Transmisión Encoder – Eje de Movimiento</p>  | <p>Reducción Mecánica mediante banda dentada en relación 1:1.</p> <p>Estado de componente: Desgastado - Reemplazar banda dentada</p> |

2. DISEÑO DE HARDWARE

Para realizar las adecuaciones necesarias en la puesta en marcha del sistema de bobinado compuesto por cuatro unidades de enrollamiento, es necesario definir parámetros de carrete (CONO) y fleje (ZUNCHO) para los cuales el sistema operará, sin descuidar el factor económico.

| | |
|---|--|
| CONO: 150-220 mm de altura | FLEJE: 10-16 mm de ancho |
|  |  |

Figura 42. Dimensiones de Fleje y Cono

2.1. REQUISITOS DE PARÁMETROS Y VARIABLES

Actualmente la línea de producción que antecede al sistema de bobinado entrega fleje a una velocidad regulable entre 80-150 RPM, por consiguiente se detalla las variables necesarias para cada proceso en la Tabla 30 y Tabla 31.

Tabla 30
Designación de señales eléctricas de salida de autómeta

| SEÑALES DE SALIDA DEL AUTÓMATA | | | |
|--------------------------------|-----------------------|--|-------|
| Variable de proceso | Tipo de variable | Descripción | Cant. |
| Inicio Motor 3φ | Discreta(Relé) | Señal de arranque de motor trifásico para el enrollamiento. | 6 |
| Pulsos Motor Pasos | Discreta (Transistor) | Señal de tren de pulsos enviados al controlador de motor a pasos para el accionamiento del husillo de bolas. | 6 |
| Dirección Motor Pasos | Discreta(Relé) | Señal de dirección horario- anti horario enviada al controlador de motor a pasos. | 6 |
| Luz Encendido | Discreta(Relé) | Señal de activación para tablero del operador. | 6 |
| Luz Emergencia | Discreta(Relé) | Señal de activación para luz de emergencia para cada bobinador. | 6 |
| TOTAL | | 24(Relé) 6(Transistor) | |

Tabla 31
Designación de señales eléctricas de entrada de autómeta.

| SEÑALES DE ENTRADA DEL AUTÓMATA | | | |
|------------------------------------|-----------------------|---|------------|
| Variable de Proceso | Tipo de variable | Descripción | Cant. |
| Sensor Inductivo | Discreta(Transistor) | Señal de sensor inductivo | 6 |
| Encoder Increment al Fase A | Discreta(Transistor) | Señal de tren de pulsos generada por sensor de posición encoder fase A. | 6 |
| Encoder Increment al Fase B | Discreta(Transistor) | Señal de tren de pulsos generada por sensor de posición encoder fase B. | 6 |
| | | | Continúa → |

| | | | |
|-----------------|----------------------|--|---|
| Contador | Discreta(Transistor) | Señal enviada por contador de metros configurada por operador. | 6 |
| Start | Discreta(Transistor) | Señal de inicio de proceso de bobinado | 6 |
| Stop | Discreta(Transistor) | Señal de parada/fin de trabajo de bobinado | 6 |
| TOTAL | | 36(Transistor) | |

Según la Tabla 30 se requiere un autómatas con 30 salidas, de las cuales 24 de ellas son a relé y 6 a transistor; de acuerdo a la Tabla 31 se requiere 36 entradas a transistor y capacidad de lectura para 6 encoder incremental con fase A/B; 12 lazos de control.

2.2. DISEÑO DEL SUBSISTEMA DE POTENCIA

El sistema eléctrico de potencia permite el suministro de energía a todos los dispositivos del sistema de bobinado, para lo cual es necesario especificar la potencia de consumo de cada uno de los dispositivos. Por consiguiente se determinará el calibre del conductor y protecciones a través de la potencia de cada uno de los equipos.

2.2.1. SELECCIÓN DE MOTOR DE ENROLLAMIENTO

Los motores eléctricos son conversores de energía para procesos cinemáticos, tomando un papel importante en la mayoría de procesos industriales y domésticos. El motor de inducción trifásico se utiliza con más frecuencia en las tecnologías de accionamiento debido a su sencilla estructura mecánica y eléctrica y a su alta fiabilidad. A continuación se establece una serie de requisitos para la selección adecuada del motor.

✚ **Suministro eléctrico:** Alimentación trifásica a 440 Vac

✚ **Frecuencia:** 60 Hz

✚ **Temperatura Ambiente:** 22 °C

- ✚ **Hermeticidad:** El grado de protección debe elegirse según el ambiente de trabajo del motor eléctrico. En el caso de IP55, protegido contra el polvo en condiciones no perjudiciales, protección frente a chorros de agua en cualquier dirección.
- ✚ **Modo de funcionamiento:** Servicio Continuo S1.
- ✚ **Velocidad:** 1800 RPM
- ✚ **Polos:** 2 Pares
- ✚ **Potencia:** 1/2 HP

| | |
|----------------------------|---|
| $P = M \frac{N}{9,55\eta}$ | <p>P= Potencia mínima del motor en kW M=Par de giro en Nm RPM= Velocidad de la aplicación η= Rendimiento del motor</p> |
|----------------------------|---|

$$P = 4,2Nm \frac{180 \text{ RPM}}{9,55(60\%)} = 351,83 \text{ W}$$

Ecuación 1.

Por consiguiente de acuerdo a la Ecuación 1 se determina la potencia del motor y en función a los requerimientos se ha seleccionado un motor de 1/2 HP de la marca MOTIVE, modelo 71B4.

2.2.2. SELECCIÓN DEL VARIADOR DE FRECUENCIA Y CALIBRE DE CONDUCTOR

Para la selección del variador de frecuencia es necesario tomar en cuenta las siguientes especificaciones:

- ✚ **Características del motor a controlar.-** Corriente máxima (1,04 A), Voltaje Nominal (440 Vac), Frecuencia Nominal (60 Hz).

- ✚ **Tipo de carga o aplicación.-** De acuerdo a la aplicación de bobinado el torque o par requerido para la aplicación es inverso, entonces a medida que la velocidad disminuye el torque aumenta. La curva tiene una evolución como la Figura 43.

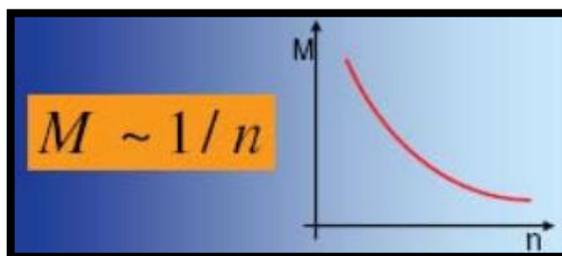


Figura 43. Curva de desempeño Torque – Velocidad
(M.P.Kostenko, 1979)

- ✚ **Condiciones ambientales y de trabajo.-** A temperaturas mayores a 50 °C y alturas de trabajo superiores a los 1000 m.s.n.m, en caso de no tener una ventilación adecuada se debe proporcionar un sistema de enfriamiento externo de manera que no sobrepase la temperatura indicada. Por otra parte la humedad, vibración y contaminación influyen en el desempeño del equipo por tal razón se debe colocar el equipo en un gabinete con un grado de protección idóneo.
- ✚ **Condiciones de red y calidad de energía.-** La empresa dispone de una red de alimentación trifásica de 440 Vac.

Por consiguiente de acuerdo a la Ecuación 2 y a los requerimientos se ha seleccionado un variador de frecuencia de 0,35 kW - 1,5 kW de la marca MICNO, modelo KE300-0R7G/1R5P-T5. El calibre de conductor es AWG #16, determinado mediante la corriente a plena carga indicada en el **¡Error! No se encuentra el origen de a referencia..**

| | |
|--------------------------|--|
| $I_{sc} = 1,75 * I_{pc}$ | I_{pc} = Corriente Plena carga I_{sc} = Corriente de Sobrecarga |
|--------------------------|--|

$$I_{sc} = 1,75 * I_{pc} = 1,75 * 3,7 \text{ A} = 6,47 \text{ A}$$

Ecuación 2.

2.2.3. SELECCIÓN DEL CONTROLADOR DEL MOTOR A PASOS

Para la selección del controlador adecuado es necesario tomar en cuenta las siguientes especificaciones.

- ✚ **Corriente del motor.-** Corriente por fase del motor 3,1 A. El controlador permitirá regular la corriente en un rango establecido.
- ✚ **Configuración de bobinado.-** Permitirá configurar las bobinas en serie o en paralelo.
- ✚ **Resolución de pasos por vuelta.-** El controlador tendrá un mínimo de 200 pasos por vuelta para que el motor trabaje de manera óptima.
- ✚ **Voltaje de alimentación.-** Opera desde los 24 Vdc – 70 Vdc.
- ✚ **Aislamiento.-** Clase B, temperatura de trabajo entre 130 °C y 155 °C. De acuerdo a la norma IEC 60085.

Por consiguiente de acuerdo a la Ecuación 3 y a los requerimientos se ha seleccionado un controlador para motor a pasos de 0,35 A - 5 A de la marca LEADSHINE, modelo EM705. El calibre del conductor es AWG #16, mediante la corriente a plena carga indicada en el ANEXO F.

| | |
|--------------------------|--|
| $I_{sc} = 1,75 * I_{pc}$ | I_{pc} = Corriente Plena carga I_{sc} = Corriente de Sobrecarga |
|--------------------------|--|

$$I_{sc} = 1,75 * I_{pc} = 1,75 * 7 \text{ A} = 12,25 \text{ A}$$

Ecuación 3.

2.2.4. SELECCIÓN DE LA FUENTE DE ALIMENTACIÓN PARA EL CONTROLADOR DEL MOTOR A PASOS

Para la selección de la fuente de alimentación de corriente continua para el controlador del motor a pasos es necesario tomar en cuenta las siguientes especificaciones.

✚ **Voltaje de Alimentación:** 110 Vac – 220 Vac

✚ **Frecuencia:** 60 Hz

✚ **Voltaje de salida:** 24 Vdc

✚ **Corriente Salida:** 10 A

✚ **Temperatura de trabajo:** menor a 45 °C

✚ **Rango de corriente:** 0,5 – 6 A rms

Por consiguiente de acuerdo a la Ecuación 4 y a los requerimientos se ha seleccionado una fuente de alimentación para el controlador del motor a pasos de 10 A – 24 Vdc de la marca LEADSHINE, modelo RPS2410. El calibre de conductor es AWG #16, mediante la corriente a plena carga indicada en el ANEXO F.

| | |
|--------------------------|--|
| $I_{sc} = 1,75 * I_{pc}$ | I_{pc} = Corriente Plena carga I_{sc} = Corriente de Sobrecarga |
|--------------------------|--|

$$I_{sc} = 1,75 * I_{pc} = 1,75 * 6 \text{ A} = 10,5 \text{ A}$$

Ecuación 4.

2.2.5. SELECCIÓN DEL INTERRUPTOR TERMO MAGNÉTICO PARA CADA DISPOSITIVO Y SUBSISTEMA

Para la selección del interruptor termo magnético se ha dividido al sistema en varios subsistemas de la siguiente manera.

BK1: Interruptor termo magnético para protección del variador de frecuencia para el bobinador #1. Mediante la corriente de sobrecarga escogemos la protección de la marca SCHNEIDER, modelo C120N de 10 A de tres polos. De la misma manera colocamos interruptores termos magnéticos para cada uno de los bobinadores.

$$I_{sc} = 6,47 A$$

BK2: Interruptor termo magnético para protección de la fuente de alimentación del controlador del motor a pasos para el bobinador #1. Mediante la corriente de sobrecarga escogemos la protección de la marca SCHNEIDER, modelo C120N de 10 A de un polo.

Corriente de sobrecarga de la Fuente de Alimentación. $I_{sc} = 10 A$

BK3: Interruptor termo magnético para protección del autómeta 1,2 y de la fuente de alimentación auxiliar para el bobinador #1, #2. Mediante la suma de las corrientes de sobrecarga escogemos la protección de la marca SCHNEIDER, modelo C120N de 6 A de un polo.

Corriente de sobrecarga de Autómeta #1. $I_{sc} = 1 A$

Corriente de sobrecarga de Autómeta #2. $I_{sc} = 1 A$

Corriente de sobrecarga de Fuente de Alimentación Auxiliar. $I_{sc} = 2 A$

Corriente de sobrecarga del subsistema. $I_{sc} = 4 A$

BK4: Interruptor termo magnético para el subsistema de potencia #1, autómeta #1 y #2 del sistema de bobinado de la línea de producción de EXTRUDER #1. Mediante la suma de las corrientes de sobrecarga escogemos la protección de la marca SCHNEIDER, modelo C120N de 40 A de un polo.

Corriente de sobrecarga de Variador de Frecuencia #1. $I_{sc} = 6,47 A$

Corriente de sobrecarga de Variador de Frecuencia #2. $I_{sc} = 6,47 A$

| | |
|---|--------------------|
| Corriente de sobrecarga de Variador de Frecuencia #3. | $I_{sc} = 6,47 A$ |
| Corriente de sobrecarga de Fuente de Alimentación #1. | $I_{sc} = 10 A$ |
| Corriente de sobrecarga de Autómata #1. | $I_{sc} = 1 A$ |
| Corriente de sobrecarga de Autómata #2. | $I_{sc} = 1 A$ |
| Corriente de sobrecarga de Fuente de Alimentación Auxiliar. | $I_{sc} = 2 A$ |
| <i>Corriente de sobrecarga del subsistema #1.</i> | $I_{sc} = 33,41 A$ |

BK5: Interruptor termo magnético para subsistema de potencia #2 del sistema de bobinado de la línea de producción de EXTRUDER #1. Mediante la suma de las corrientes de sobrecarga escogemos la protección de la marca SCHNEIDER, modelo C120N de 40 A de un polo.

| | |
|---|--------------------|
| Corriente de sobrecarga de Variador de Frecuencia #4. | $I_{sc} = 6,47 A$ |
| Corriente de sobrecarga de Variador de Frecuencia #5. | $I_{sc} = 6,47 A$ |
| Corriente de sobrecarga de Variador de Frecuencia #6. | $I_{sc} = 6,47 A$ |
| Corriente de sobrecarga de Fuente de Alimentación #2. | $I_{sc} = 10 A$ |
| Corriente de sobrecarga de Fuente de Alimentación #3. | $I_{sc} = 10 A$ |
| <i>Corriente de sobrecarga del subsistema.</i> | $I_{sc} = 39,41 A$ |

2.3. DISEÑO DEL SUBSISTEMA DE CONTROL

El sistema eléctrico de control recibe señales de sensores inductivos, encoders y contadores, para su posterior procesamiento a través de algoritmos en autómatas u ordenadores. De esta forma envían señales de control a dispositivos que actúan directamente sobre elementos finales, siendo los más comunes en la industria motores, electroválvulas entre otros.

2.3.1. SELECCIÓN DEL AUTÓMATA

Para la selección del autómata se consideró especificaciones mencionadas en la Tabla 30 y Tabla 31. Por consiguiente se escogió el autómata de la marca XINJE modelo XC5-48RTE por su flexibilidad de conexión con módulos en diferentes modelos y coste económico, sin embargo se ajusta a las necesidades en forma parcial por lo que es necesario realizar una red con dos autómatas. El calibre del conductor es AWG #18, mediante la corriente a plena carga indicada en el ANEXO F.

- ✚ **Voltaje de Alimentación:** 110 Vac- 220 Vac
- ✚ **Frecuencia:** 60 Hz
- ✚ **Voltaje de salida:** 24 Vdc
- ✚ **Corriente de Salida:** 1 A
- ✚ **Temperatura de trabajo:** menor a 45 °C
- ✚ **Entradas digitales:** 36
- ✚ **Salidas digitales a relé:** 24
- ✚ **Salidas digitales a transistor:** 6
- ✚ **Lectura de Sensores:** Encoder incremental con dos fases
- ✚ **Tipo de Programación:** LADDER
- ✚ **Tipo de Comunicación:** Modbus
- ✚ **Ingreso de datos:** mediante pantalla
- ✚ **Lazos de control:** 8
- ✚ **Programación:** flexible subrutinas

2.3.2. SELECCIÓN DE PANTALLA DE OPERADOR

El sistema de bobinado requiere el ingreso de dos parámetros numéricos de cono y fleje, para la presentación de datos se requiere variables discretas, por tanto la pantalla de operador requerida es OP-320. El calibre del conductor es AWG #18, mediante la corriente a plena carga indicada en el ANEXO F.

- ✚ **Voltaje de alimentación:** 20-28 Vdc
- ✚ **Tamaño:** 2,7"
- ✚ **Color de pantalla:** Monocromática
- ✚ **Tipo de comunicación:** Comunicación serial

2.3.3. SELECCIÓN DE FUENTE DE ALIMENTACIÓN AUXILIAR

Para la selección de la fuente de alimentación auxiliar de corriente continua de sensores inductivos, encoders es necesario tomar en cuenta las siguientes especificaciones.

- ✚ **Voltaje de Alimentación:** 110 Vac - 220 Vac
- ✚ **Frecuencia:** 60 Hz
- ✚ **Voltaje de salida:** 24 Vdc
- ✚ **Corriente Salida:** 2,5 A
- ✚ **Temperatura de trabajo:** menor a 45 °C

Por consiguiente de acuerdo a la Ecuación 5 y a los requerimientos se ha seleccionado una fuente de alimentación para el controlador del motor a pasos de 2,5 A – 24 Vdc de la marca SIEMENS, modelo 6EP1332-1SH43. El calibre de cable es AWG #18, mediante la corriente a plena carga indicada en el ANEXO F.

| | |
|--------------------------|---|
| $I_{sc} = 1,75 * I_{pc}$ | $I_{pc} = \text{Corriente Plena carga}$ $I_{sc} = \text{Corriente de Sobrecarga}$ |
|--------------------------|---|

Ecuación 5.

2.3.4. SELECCIÓN DEL ENCODER

Para la selección del sensor de movimiento rotativo, se escogió un encoder incremental con las siguientes características.

- ✚ **Voltaje de Alimentación:** 12 Vdc - 24 Vdc
- ✚ **Tipo de salida:** NPN
- ✚ **Frecuencia:** 150 kHz
- ✚ **Velocidad máxima:** 3000 RPM
- ✚ **Corriente de Salida:** 60 mA
- ✚ **Señales de Salida:** Fase A/B
- ✚ **Número de cables:** 5

Por consiguiente de acuerdo a los requerimientos se ha seleccionado el encoder incremental de la marca HAN YOUNG NUX, modelo PSC-MB-AB-N. La conexión del sensor se realiza mediante cable UTP CAT #6 para facilidad de conectividad.

3. DESARROLLO DE SOFTWARE

En esta sección de acuerdo a los requerimientos de la empresa CODIEMPAQUES DEL ECUADOR CÍA. LTDA., se desarrollará un sistema que controle y comunique cada uno de los equipos, mediante algoritmos que procesan los datos provenientes de sensores y dispositivos que intervienen en el proceso de bobinado de fleje tipo PP, en el área de empaque.

En la Figura 44 se muestra la distribución de dispositivos, sensores y actuadores.

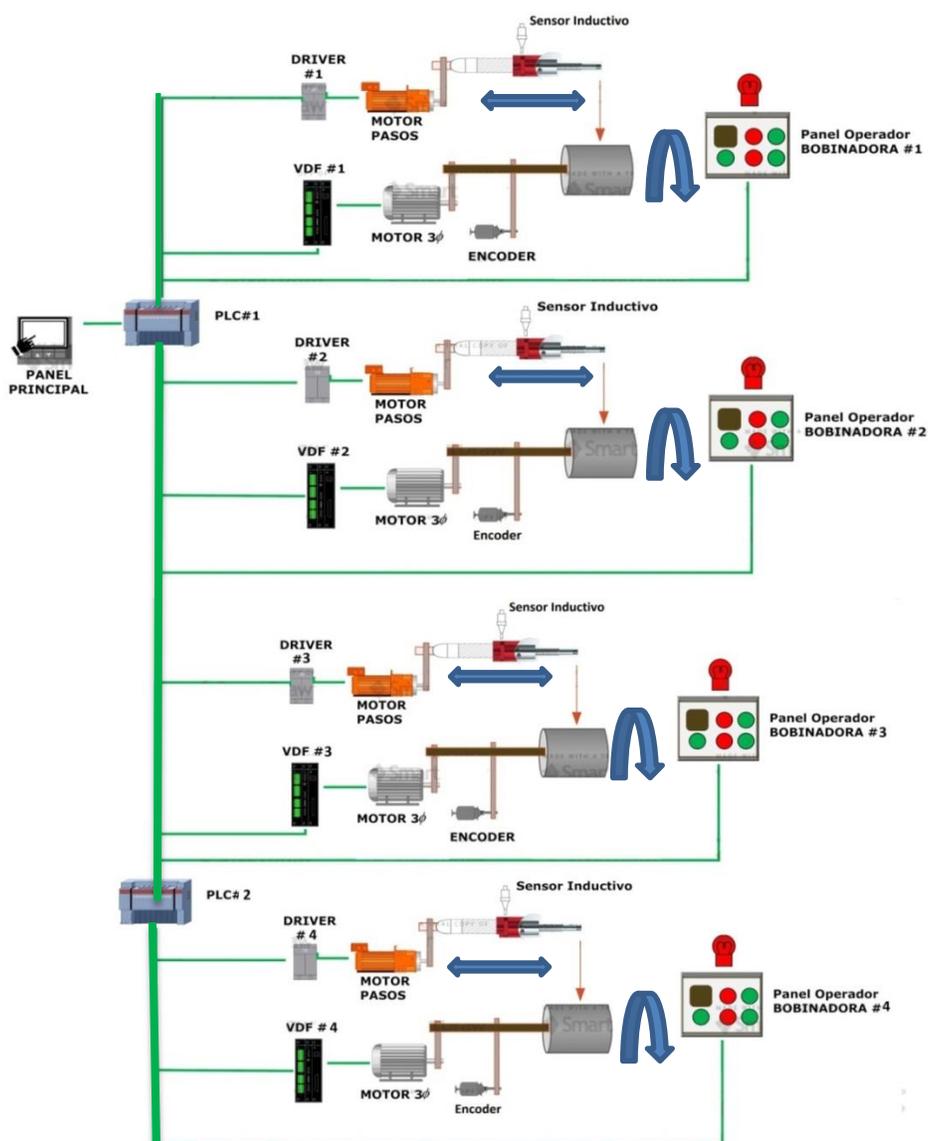


Figura 44. Diagrama esquemático del sistema de bobinado

El sistema de bobinado funcionará de acuerdo al diagrama de flujo de la Figura 45, el cual permitirá trabajar de forma parcial o total con cada uno de los cuatro bobinadores, considerando problemas de imperfección en el fleje.

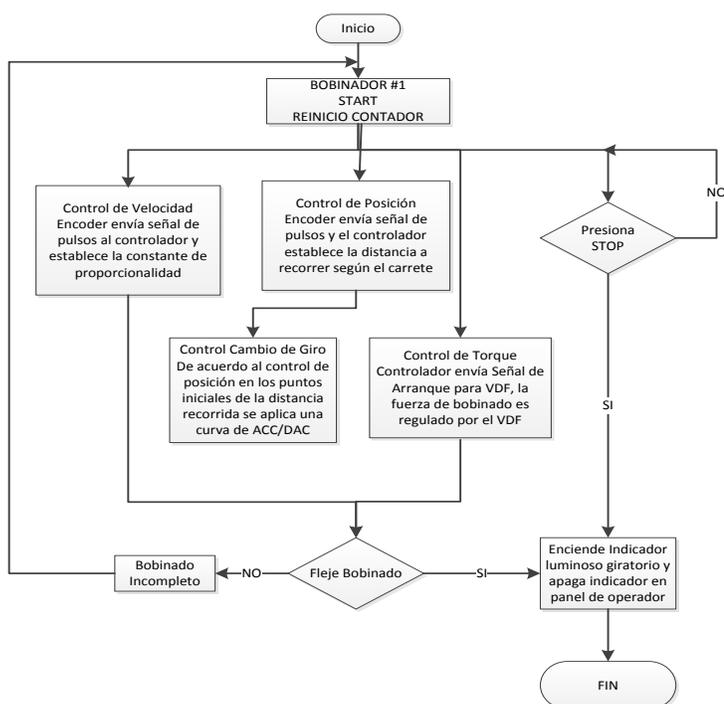


Figura 45. Funcionamiento Parcial de BOBINADORA #1

3.1. SOFTWARE DE CONTROL

De acuerdo al controlador escogido se puede determinar que el lenguaje de programación más adecuado para la aplicación es LADDER por su similitud con circuitos eléctricos, cabe mencionar que el controlador también soporta lenguaje literal como texto estructurado, pero se necesita mayor conocimiento en programación para usar este lenguaje.

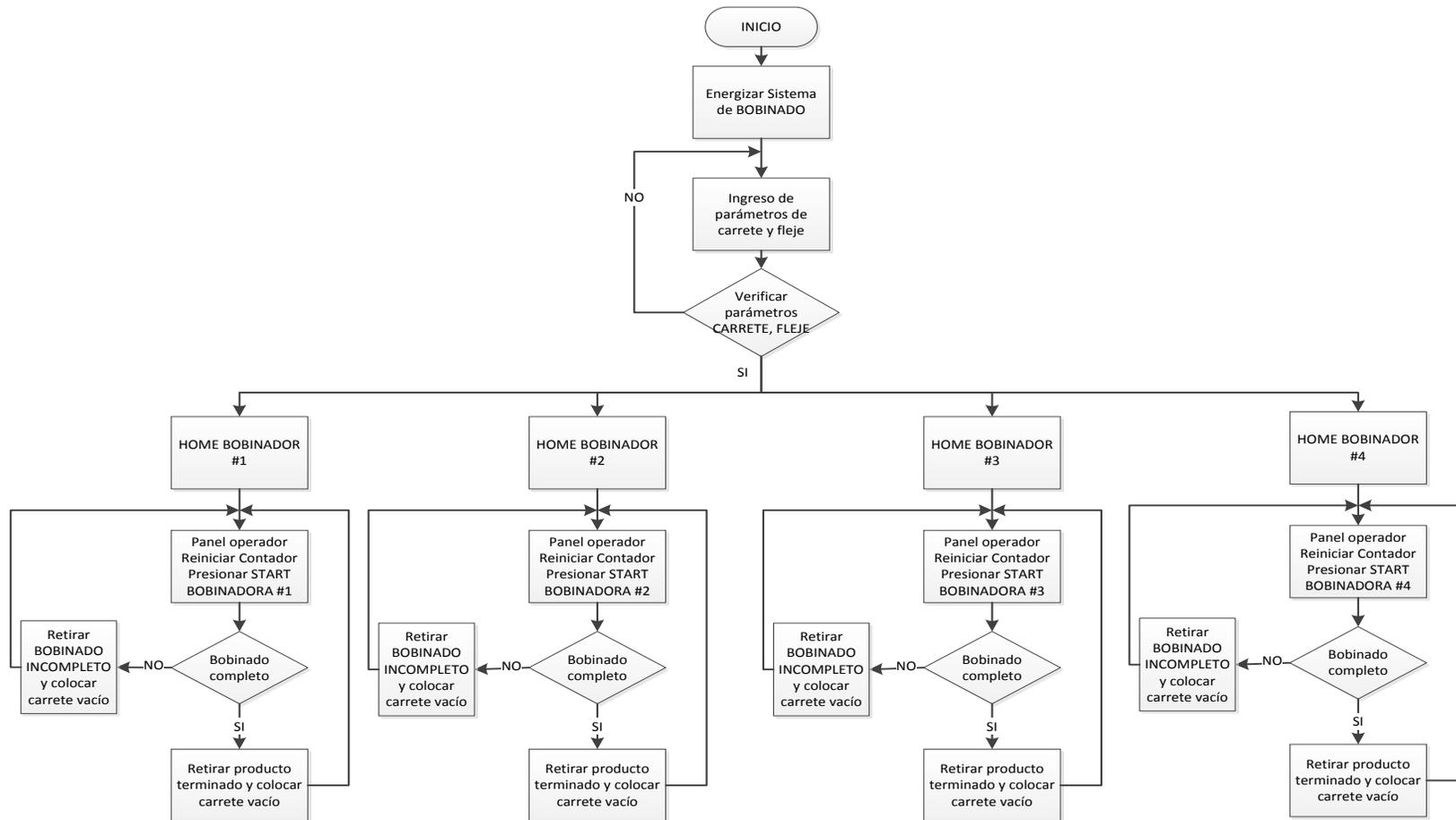


Figura 46. Procedimiento para bobinar un fleje tipo PP en el sistema de enrollamiento

Cada uno de los algoritmos de control de velocidad, posición, cambio de giro, control de torque recibe señales recogidas por los sensores y dispositivos de campo, se conocen como variables de proceso.

A través del diagrama de flujo de la Figura 46 se indica el proceso que se lleva a cabo en el controlador para cada uno de los bobinadores que componen el sistema de bobinado. Posteriormente se explica en detalle el funcionamiento de cada uno de los algoritmos de control.

3.1.1. CONTROL DE VELOCIDAD

De acuerdo a la aplicación, la velocidad para el motor trifásico y motor a pasos son parámetros importantes para conseguir un bobinado uniforme, pero la velocidad del motor trifásico será controlada por el control de torque. Para desarrollo del algoritmo se tendrá en cuenta que ambos motores necesitan girar a velocidades proporcionales, cuyo objetivo será evitar que el fleje se solape entre vuelta y vuelta, y que el espaciamiento sea 2 mm.

Un sensor encoder incremental colocado en el eje de accionamiento del motor trifásico proveerá una señal que posteriormente será procesada e indicará la velocidad a la que se está bobinando, según la Figura 47.

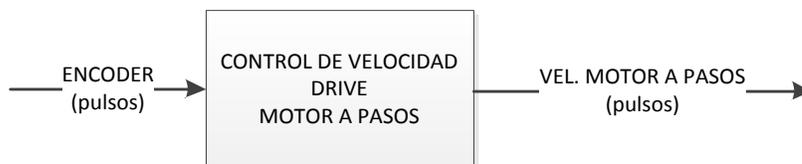


Figura 47. Parámetros de entrada y salida al control de velocidad

Para determinar la constante de proporcionalidad se establece la Ecuación 6:

$$V_{carrete} = k * V_{guia}$$

$$\frac{X_{carrete}}{t_{carrete}} = k * \frac{X_{guia}}{t_{guia}}$$

Ecuación 7

Si $X_{carrete} = 1 \text{ rev} = 400 \text{ pulsos}$ entonces tiene que recorrer el ancho de fleje más 2 mm de separación $X_1 = X_{guia} + 2 \text{ (mm)}$

$$X_1 = (X_{guia} + 2) * 80 \text{ (pulsos)}$$

Ecuación 8

Reemplazando la Ecuación 8 en Ecuación 7 se tiene:

$$\frac{400}{t_{carrete}} = k * \frac{(X_{guia} + 2) * 80}{t_{guia}}$$

Hacemos $t_{carrete} = t_{guia}$, entonces:

$$k = \frac{400}{(X_{guia} + 2) * 80}$$

Ecuación 9

Reemplazando la Ecuación 9 en Ecuación 6 se tiene:

$$V_{guia} = \frac{(X_{guia} + 2) * 80}{400} * V_{carrete}$$

Ecuación 10

Por consiguiente se realiza un escalamiento, el driver de motor a pasos recibe hasta 4200 pulsos con una configuración de 400 pulsos por revolución de acuerdo a la velocidad del fleje. Para hallar la velocidad mínima y máxima se toma en cuenta la velocidad con que se produce el fleje en la línea de producción anterior.

| | |
|------------------------|---|
| $\omega = \frac{V}{R}$ | ω = Velocidad Angular de Carrete V = Velocidad Lineal de Fleje R = Radio del Carrete |
|------------------------|---|

$$R = 0,22 \text{ m}$$

$$V = 150 \frac{m}{min} = 2,5 \frac{m}{seg}$$

$$\omega = \frac{2,5 m/seg}{0,22 m} = 11,3636 rad/seg$$

Ecuación 11

Transformando la velocidad angular en frecuencia

$$t = \frac{2\pi rad * 1seg}{11,3636 rad} = 0,5529 seg$$

Ecuación 12

$$f = \frac{1}{t} = \frac{1}{0,5529} = 1,8085 Hz$$

Luego

$$Pulsos = Pulsos_{driver} * f$$

$$Pulsos = 5 * 400 * 1,8085 = 3617 pulsos$$

Ecuación 13

Por tanto se selecciona 4200 como velocidad máxima, a esta velocidad el encoder tiene una lectura de 150. De forma similar se calcula el valor mínimo proporcionado por la de producción anterior.

$$R = 0,22 m$$

$$V = 50 \frac{m}{min} = 0,833 \frac{m}{seg}$$

$$\omega = \frac{0,833 m/seg}{0,22 m} = 3,7863 rad/seg$$

Ecuación 14

Transformando la velocidad angular mínima en frecuencia

$$t = \frac{2\pi rad * 1seg}{3,7863 rad} = 1,6594 seg$$

$$f = \frac{1}{t} = \frac{1}{1,6594} = 0,6926 \text{ Hz}$$

Ecuación 15

Luego

$$Pulsos = Pulsos_{driver} * f$$

$$Pulsos = 5 * 400 * 0,6926 = 1205,23 \text{ pulsos}$$

Ecuación 16

Por tanto se selecciona 1200 como velocidad mínima, a esta velocidad el encoder tiene una lectura de 46. Por medio de los dos puntos obtenidos, y mediante una ecuación lineal se representa el escalamiento, que tendrá como resultado la velocidad del motor a pasos.

(150,4200) Controlador motor a pasos

(46,1200) Lectura de encoder incremental con $t=200$ ms

$$y = m * x + b$$

Ecuación 17

$$y = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$$

$$y = \frac{4200 - 1200}{150 - 46} = \frac{3000}{104} = 28,8461$$

$$y = 28,8461 * x + b$$

Remplazando el par ordenado (150, 4200)

$$4200 = 28,8461 * 150 + b$$

$$b = -126,92$$

Por tanto

$$y = 28,8461 * x - 126,9231$$

Ecuación 18

Reemplazando la Ecuación 10 en la Ecuación 18 se tiene:

$$V_{guia} = 28,8461 * \frac{(X_{guia} + 2)}{5} * V_{carrete} - 126,9231$$

Ecuación 19

Mediante la Ecuación 19 obtenida y de acuerdo al diagrama de flujo de la Figura 48 se procede a la programación en el controlador.

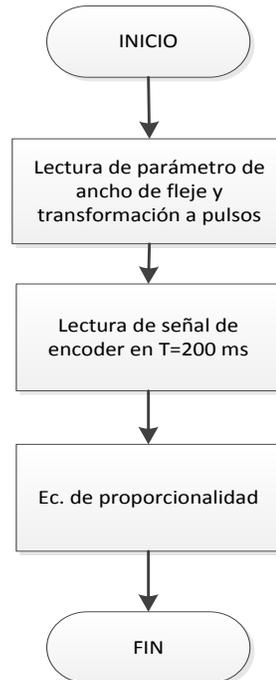


Figura 48. Algoritmo de control de velocidad de motor a pasos

3.1.2. CONTROL DE POSICIÓN

De acuerdo a la aplicación, la posición que va a recorrer el guía del fleje viene determinada por ancho del carrete previamente ingresada por el usuario. Para el desarrollo del algoritmo se tendrá en cuenta una precisión de 2 mm según el husillo de bolas, el objetivo del control será evitar que el fleje sea bobinado fuera del carrete.

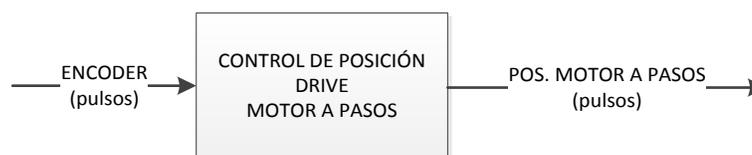


Figura 49. Parámetros de entrada y salida al control de posición

Un sensor encoder incremental colocado en el eje de accionamiento del motor trifásico proveerá una señal eléctrica de pulsos que posteriormente será procesada e indicará la distancia recorrida por el guía fleje, según la Figura 49.

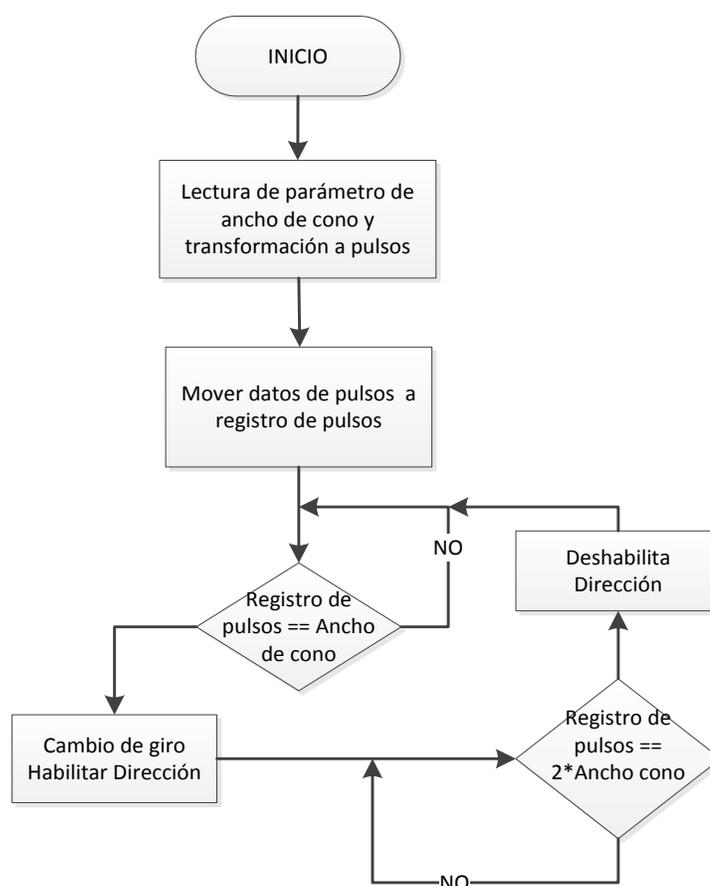


Figura 50. Algoritmo de control de posición del motor a pasos

De acuerdo a la relación de transmisión entre el motor a pasos y el husillo de bolas se tiene que con 1 revolución del motor a pasos se obtiene un desplazamiento longitudinal

de 5 mm, por otra parte 1 revolución equivale a 400 pulsos, por medio de la Ecuación 20 se transforma de milímetros a pulsos.

$$X_{pulsos} = \frac{X_{cono}(mm) * 400 (pulsos)}{5 (mm)} = 80 * X_{cono}(mm)$$

Ecuación 20

Mediante la Ecuación 20 obtenida y de acuerdo al diagrama de flujo de la Figura 50 se procede a la programación en el controlador.

3.1.3. CONTROL DE CAMBIO DE GIRO

De acuerdo a la aplicación, el cambio de giro del guía fleje por medio del husillo de bolas es realizado en los extremos del carrete, el objetivo del control será mejorar la respuesta del actuador, aliviando el estrés mecánico en velocidades altas, debido a la inercia del husillo de bolas; además el estrés eléctrico se ve afectado por el elevado consumo de corriente necesario para realizar un cambio de giro en el motor a pasos. Por las razones expuestas se debe realizar un control para el cambio de giro en el motor a pasos.

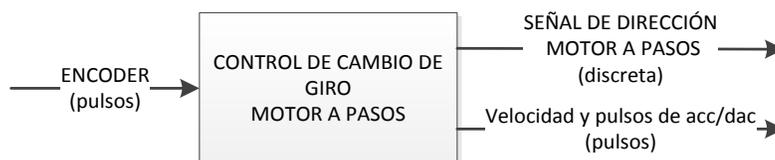


Figura 51. Parámetros de entrada y salida al control de cambio de giro

El sensor encoder incremental colocado en el eje de accionamiento del motor trifásico proveerá una señal eléctrica de pulsos que posteriormente será procesada y almacenada en el autómata, la Figura 51 muestra que el control tiene como entrada la señal del encoder y una salida discreta para la dirección del controlador de motor a pasos, un registro con número de pulsos y velocidad para el control de velocidad.

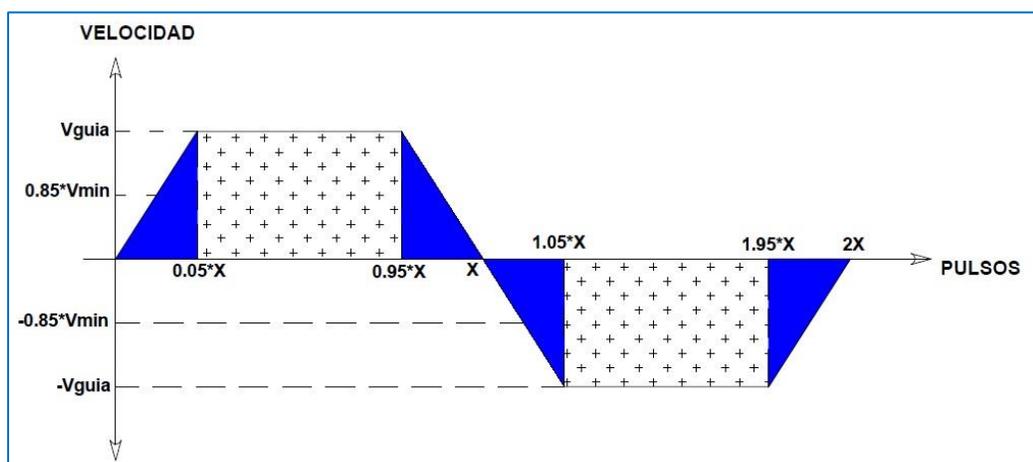


Figura 52. Curva de Aceleración y Desaceleración de Motor a Pasos

La Figura 52 indica en el EJE X los pulsos enviados al controlador de motor a pasos, el EJE Y indica la velocidad del motor a pasos. La curva representa los puntos de aceleración y desaceleración en una distancia X programados en el controlador según la Figura 53.

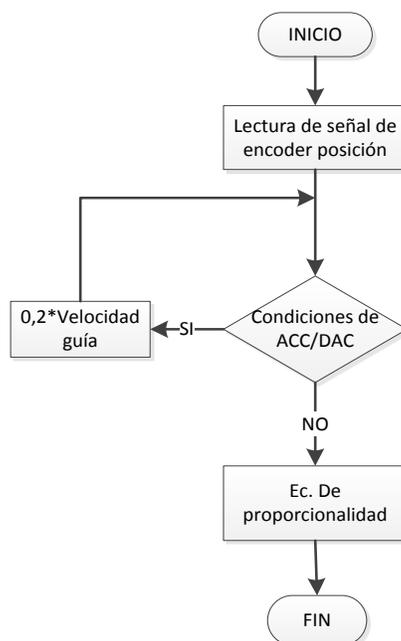


Figura 53. Algoritmo de control de cambio de giro del motor a pasos.

3.1.4. CONTROL DE TORQUE

El control de torque se realiza en el motor trifásico de inducción que realiza el enrollamiento del fleje en el carrete, este control es usado habitualmente en bobinadoras, donde es importante mantener constante la tensión del material bobinado.

Para lo cual se separa y regula la componente de corriente que crea el torque en el motor, de esta manera se podría regular torque en el motor, no solo la velocidad. El torque del motor depende de la carga, permitiéndose cambios en la corriente de acuerdo a la variación de la misma.

Las características antes mencionadas determinan que tipo de control se usará en el variador de frecuencia, por consiguiente el control vectorial sin retroalimentación (SVC) permite regulación de velocidad y torque.

Torque del motor trifásico de inducción

$$T = \frac{5252 * Potencia(Hp)}{Velocidad(RPM)}$$

$$T = \frac{5252 * 1/2(Hp)}{1635(RPM)} = 1,6061 \text{ libras} - \text{pie} = 2,18 \text{ Nm}$$

Ecuación 21

De acuerdo a pruebas realizadas en la fábrica mediante equipos de medición de torque, especifica que el bobinado debe realizarse con 1,8 Nm. En el siguiente apartado se procede a configurar el variador de frecuencia de acuerdo a la Tabla 32.

Tabla 32
Parámetros de variador de frecuencia MICNO

| Tabla de parámetros | | | |
|---------------------------------------|--------------------------|---|--------------|
| Código Parámetro | Nombre | Descripción de función | Valor Actual |
| Grupo P0: Funciones Básicas | | | |
| P0-00 | Modelo inversor | 1: G (Torque Constante) 2: P (Torque variable) | 1 |
| P0-01 | Modo de Control | 0: Control V/F 1: Control SVC | 1 |
| P0-02 | Fuente de Comandos | 0: Teclado(Led Apagado) 1: Terminal (Led ON) 2: Comunicación (Led Titila) | 1 |
| P0-03 | Frecuencia principal | 0: Teclado no graba 1: Teclado graba 2: AI1 3: AI2 4: Potenciómetro de teclado 5: HDI 6: Velocidad multi- pasos 7: Simple PLC 8: PID 9: Comunicación | 1 |
| P0-10 | Frecuencia máxima | 50-300 Hz | 45 |
| P0-17 | Tiempo de aceleración | 0.01 s – 3600 s | 0.5 |
| P0-18 | Tiempo de desaceleración | 0.01 s – 3600 s | 0.5 |
| Grupo P1: Parámetros del Motor | | | |
| P1-00 | Tipo de Motor | 0: Motor Asíncrono 1: Motor de Asíncrono de Frecuencia Variable | 0 |
| P1-01 | Potencia nominal | 0,1 kW- 1000,0 kW | 0,41 |
| P1-02 | Voltaje nominal | 1 V – 2000 V | 440 V |
| P1-03 | Corriente nominal | 0,01 A- 655,35 A (Inversores < 55 kW) 0,1 A – 6553,5 (Inversores > 55 kW) | 1,04 |
| P1-04 | Velocidad nominal | 1 rpm – 3600 rpm | 1635 |

Continua →

| Grupo P4: Terminal de entrada | | | |
|--|--|--|-----|
| P4-00 | D1 terminal | 0: No función | 1 |
| P4-01 | D2 terminal | 1: Giro Horario | 2 |
| P4-02 | D3 terminal | 2: Giro Anti horario | 0 |
| P4-03 | D4 terminal | 3: Funcionamiento 3 líneas de control | 0 |
| P4-04 | D5 terminal | | |
| P4-05 | D6 terminal | | |
| P4-03 | HDI terminal | | |
| Grupo 9: Protecciones y Fallos | | | |
| P9-00 | Selección de protección en motor sobrecargado | 0: Desactivado 1: Activado | 1 |
| P9-01 | Protección de ganancia de motor sobrecargado | 0,2 - 10 | 1 |
| Grupo PP: Administración de función de parámetros | | | |
| PP-00 | Contraseña | 0-65535 | 0 |
| PP-01 | Inicialización de parámetros | 0: Sin acción 1: Restaurar valor por defecto, no incluye parámetros de motor 2: Borrar histórico | 0 |
| PP-02 | Grupo selección de parámetros en pantalla | 00: No mostrar grupo U0 01: Mostrar grupo U0 10: No Mostrar grupo A0 11: Mostrar grupo A0 | 11 |
| Grupo A0: Parámetros de control de Torque | | | |
| A0-00 | Selección de modo de control Velocidad/torque | 0: Control de Velocidad 1: Control de Torque | 1 |
| A0-01 | Selección de origen de configuración de torque en modo control de torque | 0: Teclado 1: AI1 2: AI2 3: Potenciómetro de teclado 4: HDI 5: Comunicación 6: Min (AI1,AI2) 7: Max (AI1,AI2) | 3 |
| A0-03 | Selección de torque a través de teclado en modo control de torque | -200,0 % - 200,0 % | 20% |
| A0-04 | Tiempo de filtro de torque | 0,00s – 10,00 s | |

Continúa →

| | | | |
|--------------|--|--------------------|-----|
| A0-05 | Frecuencia máxima en sentido horario en control de torque | 0,00 Hz – P0-10 Hz | 40 |
| A0-06 | Frecuencia máxima en sentido anti horario en control de torque | 0,00 Hz – P0-10 Hz | 40 |
| A0-07 | Tiempo de aceleración en control de torque | 0,00 s – 10,00 s | 0,5 |
| A0-08 | Tiempo de desaceleración en control de torque | 0,00 s – 10,00 s | 0,5 |

3.2.COMUNICACIÓN ENTRE AUTÓMATAS

Para enviar los datos del carrete y fleje desde un panel de operador hacia dos autómatas, es necesario implementar una red de comunicación de datos; el autómata de modelo XINJE XC5-48RTE soporta comunicación Modbus y CAN.

El proyecto trabaja sobre el protocolo de comunicaciones industriales Modbus situado en la capa 7 del modelo OSI, basado en la arquitectura maestro- esclavo, fue diseñado en 1979 por MODICOM para una gama de PLC. Posteriormente fue convertido en un protocolo estándar dentro de la industria por permitir una amplia interconexión entre dispositivos industriales.

Basado en una arquitectura de tipo maestro/esclavo, tiene un nodo maestro que es el encargado de enviar los comandos explícitos a cada uno de los nodos esclavos los cuales procesan la respuesta requerida.

Una característica de este tipo de bus de campo es que los nodos no transmiten información sin petición del nodo maestro y además no se comunican con los demás nodos esclavos dentro de la red. La Figura 54 muestra el algoritmo de control implementado en el autómata maestro para la lectura y escritura de datos proveniente de un autómata ESCLAVO.

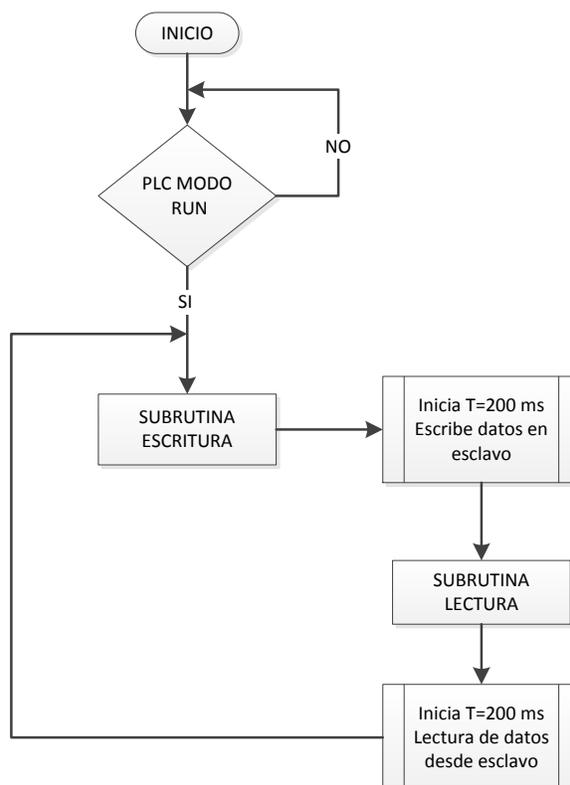


Figura 54. Proceso de lectura y escritura de datos MAESTRO-ESCLAVO

Para la configuración de parámetros en el autómatas maestro, se utiliza la Figura 55.

| | |
|-----------------|---------------------------------|
| Estación | Número de Estación MODBUS: 1 |
| Tasa de baudios | 19200 Kbps |
| Bits de datos | 8 |
| Bits de parada | 1 |
| Paridad | Siempre |

Figura 55. Configuración de parámetros de comunicación MODBUS autómatas maestro

Para la configuración de parámetros en el autómatas esclavo, se utiliza la Figura 56.

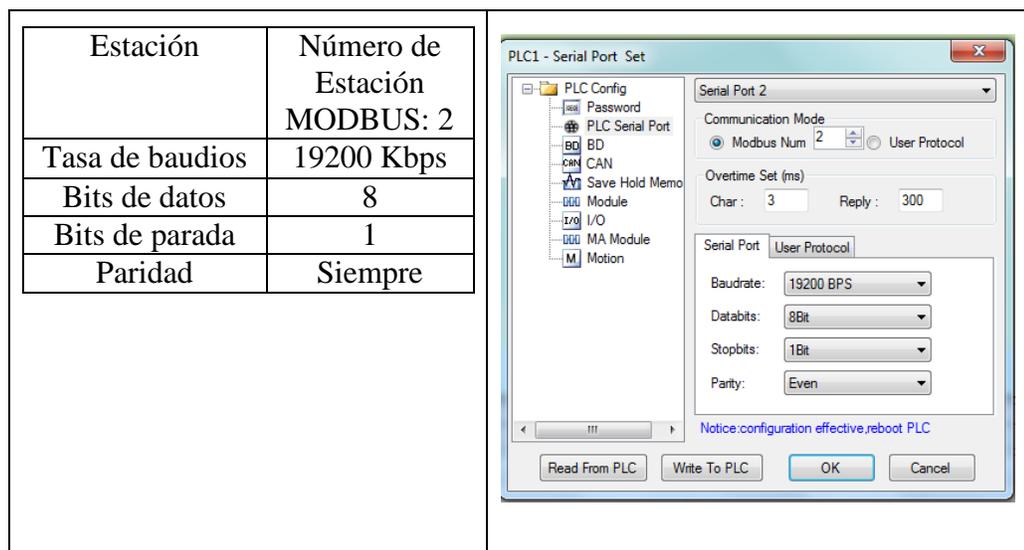


Figura 56. Configuración de parámetros de comunicación MODBUS automática esclavo

3.3. SOFTWARE DE HMI

Para el desarrollo de HMI se utilizó el software OP20 Edit Tool. El diseño se basa en la guía ergonómica de diseño de interfaz de supervisión GEDIS que ofrece un método de diseño especializado en sistemas de control industrial.

La guía se estructura en dos partes, la primera detalla un conjunto de indicadores y la segunda parte muestra la obtención de medidas cuantitativas de evaluación de los indicadores para la obtención de un valor numérico final que permita valorar las posibles mejoras de la interfaz.

3.3.1. LISTA DE INDICADORES

La guía GEDIS consta de diez indicadores que pretenden cubrir todos los aspectos del diseño de la interfaz. La Tabla 33 se muestra la definición de cada indicador.

Tabla 33
Lista de Indicador según Guía GEDIS

| Indicador | Definición | Entradas | Salidas |
|--|---|--|--|
| Arquitectura | Organización jerárquica de las pantallas | De la planta física a la monitorización gráfica. | Mapa de relación entre pantallas y sus funciones. |
| Distribución de pantallas | Plantillas de los diferentes tipos de pantalla | Diseño de los procesos físicos y subprocesos | Clasificación de tipos de pantallas y tipos de plantillas. |
| Navegación | Modos de navegación entre pantallas | Controles de navegación entre subprocesos | Navegación equilibrada en anchura y profundidad |
| Uso de color | Asociación de funcionalidades en el ámbito de control de procesos | Requisitos sobre dispositivos de información visual | Uso de color adecuado en el contexto |
| Uso de fuentes de información | Abanico de fuentes y asociación de funcionalidades | Fuentes y tamaños legibles por el operador | Estándares de fuentes, acrónimos y abreviaturas |
| Estatus de los equipos y eventos de proceso | Símbolos e iconos gráficos para representar el estado de la planta y los cambios de estado. | Estándares nacionales o internacionales en control supervisión | Uso de símbolos e iconos reconocibles por el operario. |
| Información y valores de procesos | Presentación de los datos analógicos/digitales en los gráficos | Procesamiento de la información | Lista clasificada de las variables del proceso. |
| Gráficos de tendencias y tablas | Presentación y agrupación de valores en gráficos de tendencias y tablas | Procesamiento de la información | Lista de agrupaciones de datos en gráficos y tablas en los sinópticos de proceso |
| Comandos y entradas de datos | Modo de entrada de datos a la interfaz | Estándares de diseño de comandos y entrada de datos | Accesibilidad a la manipulación de parámetros y consignas |
| Alarmas | Características principales del subsistema de alarmas | Estimación de riesgos | Listado de alarmas, clasificación por prioridades |

Los indicadores utilizados para la el desarrollo de HMI para el sistema de bobinado son los siguientes:

- ✚ **Arquitectura.** Para iniciar los procesos el operador debe iniciar con un mapa que definirá las distintas pantallas de trabajo para interactuar con el sistema de bobinado. La Figura 57 muestra las diferentes pantallas de operador usadas en el sistema.

| | |
|----------------------------|--|
| Pantalla de Comando |  |
| |  |
| Pantallas de Configuración |  |

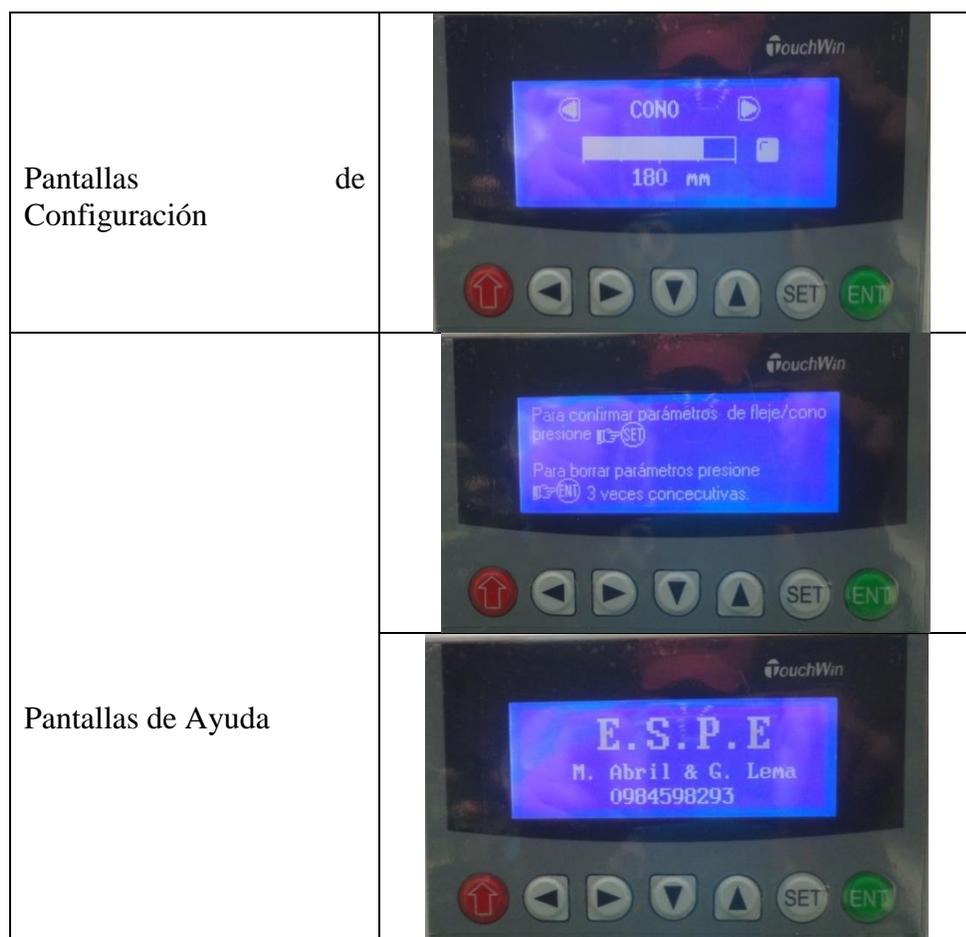


Figura 57. Tipos de pantallas.

- + **Distribución de pantallas.-** Este indicador permite establecer las plantillas de la interfaz, mediante el número de pantallas y el tipo de pantallas. La Figura 58 muestra la distribución de pantallas, el diseño cuenta con siete pantallas.

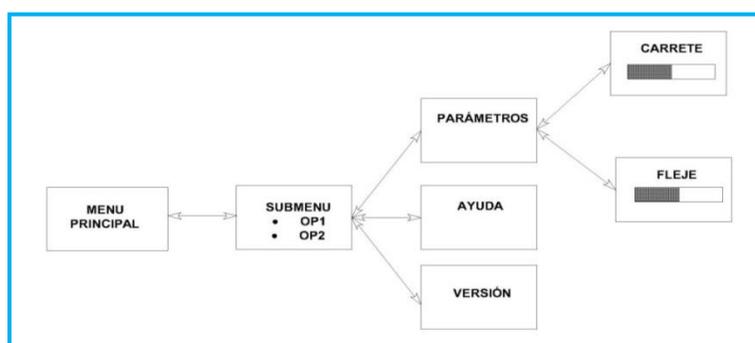


Figura 58. Distribución de pantallas

- ✚ **Navegación.**- Permite determinar el modo en que se intercambia de una ventana a otra. La Figura 59 indica la función de cada una de las teclas de la pantalla.

| SÍMBOLOS | DESCRIPCIÓN |
|---|--|
|  | Permite en cualquier pantalla ir a la pantalla principal. |
|  | Decrementar valor numérico de fleje o cono |
|  | Incrementar valor numérico de fleje o cono |
|  | Navega a la pantalla siguiente. |
|  | Navega a la pantalla anterior. |
|  | Confirma los parámetros de fleje y cono en las pantallas de configuración. |
|  | Permite reiniciar los parámetros de fleje y cono con 3 pulsaciones en la pantalla principal. |

Figura 59. Teclas de pantalla de operador con descripción

- ✚ **Uso de fuentes.**- La información del proceso es presentada al usuario por medio de texto y barras de estado. Para el diseño se usó tipo de letra legible y se indica el valor del parámetro a través de una barra horizontal indicado en la Figura 60.

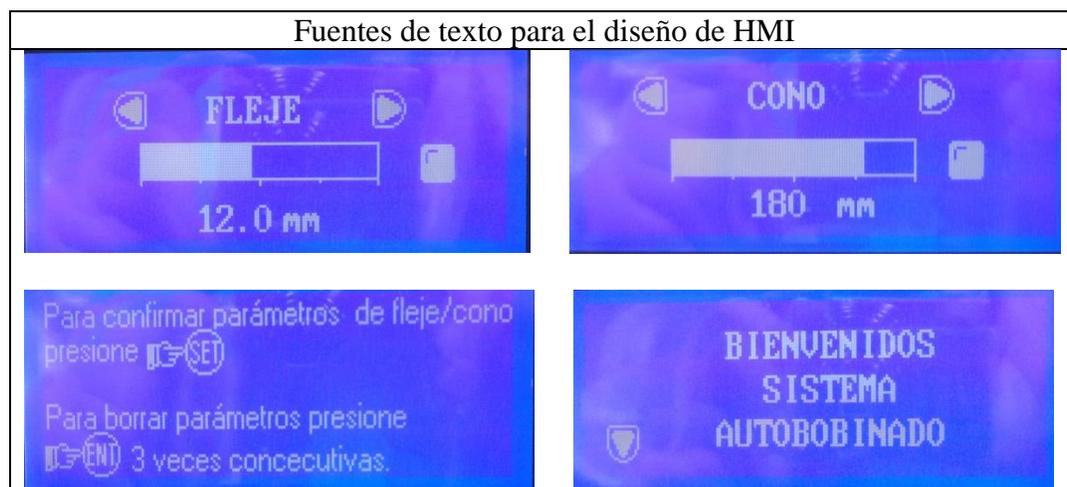


Figura 60. Fuentes para el diseño de pantalla

3.3.2. EVALUACIÓN

La evaluación expresada en forma numérica cuantitativa o bien en formato cualitativo pretende indicar el desempeño de la interfaz. Cada uno de los indicadores de la Tabla 33 puede descomponerse en diversos sub indicadores. Por ejemplo, el indicador Arquitectura puede detallarse en la Tabla 34: Existencia de mapas (2), número de niveles (3), existencia de mapas (5). Para cada sub indicador se recomienda se puntúe numéricamente en una escala de 1 a 5.

En este ejemplo el número de sub indicadores del indicador arquitectura es $J=3$. Para el cálculo del valor del indicador se utiliza la Ecuación 22, donde J es el número de sub indicadores y w es el peso de cada sub indicador.

$$Indicador = \frac{\sum_{j=1}^J w_j * Subind_j}{\sum_{j=1}^J w_j}$$

Ecuación 22

Tabla 34
Sub indicadores del indicador de arquitectura

| ARQUITECTURA | | | | |
|--------------|------------------------|--------------|------|-------|
| NÚMERO | SUB INDICADOR | EVALUACIÓN | PESO | VALOR |
| 1 | Existencia de mapas | 0-5, NO-SI | 1 | 5 |
| 2 | Número de niveles | 0-5, NO-SI | 3 | 6 |
| 3 | División por secciones | 0-5, <2 o >5 | 1 | 1 |

| SUB INDICADOR | EVALUACIÓN |
|---------------|------------|
| | 4,83 |

En la Tabla 35 se observa los sub indicadores del indicador distribución de pantallas.

Tabla 35
Sub indicadores del indicador distribución de pantallas

| DISTRIBUCIÓN DE PANTALLAS | | | | |
|---------------------------|------------------------|------------|------|-------|
| NÚMERO | SUB INDICADOR | EVALUACIÓN | PESO | VALOR |
| 1 | Comparación de modelos | 0-5, NO-SI | 1 | 5 |
| 2 | Flujo de proceso | 0-5, M-B-E | 2 | 1 |
| 3 | Densidad | 0-5, NO-SI | 2 | 5 |

| SUB INDICADOR | EVALUACIÓN |
|---------------|------------|
| | 3,4 |

En la Tabla 36 se observa los sub indicadores del indicador navegación.

Tabla 36
Sub indicadores del interfaz de navegación

| NAVEGACIÓN | | | | |
|------------|------------------------------|--------------|------|-------|
| NUMERO | SUB INDICADOR | EVALUACIÓN | PESO | VALOR |
| 1 | Relación con la arquitectura | 0-5, NO-SI | 1 | 4 |
| 2 | Numero de niveles | 0-5, >6 o =3 | 1 | 6 |

| SUB INDICADOR | EVALUACIÓN |
|---------------|------------|
| | 5 |

En la Tabla 37 se observa los sub indicadores del indicador navegación

Tabla 37
Sub indicadores del indicador de uso de fuentes e información textual

| USO DE FUENTES E INFORMACIÓN TEXTUAL | | | | |
|--------------------------------------|---------------------------------|------------|------|-------|
| NÚMERO | SUB INDICADOR | EVALUACIÓN | PESO | VALOR |
| 1 | Tipos de fuente compleja(<3) | 0-5, NO-SI | 1 | 5 |
| 2 | Tamaño de letra muy pequeña(<8) | 0-5, NO-SI | 1 | 5 |
| 3 | Combinaciones inapropiadas | 0-5, NO-SI | 1 | 4 |
| 4 | Uso de abreviaturas | 0-5, NO-SI | 2 | 0 |

| SUB INDICADOR | EVALUACIÓN |
|---------------|------------|
| | 2,8 |

La medida de la evaluación global de cada uno de los indicadores de la Tabla 33 se mide en una escala de 1 a 5. Los valores de los indicadores pueden agruparse de manera que la guía GEDIS ofrezca la evaluación global de la interfaz y pueda ser comparada con otras. En una primera aproximación se ha considerado el valor medio entre indicadores expresado en Ecuación 22. Es decir, a cada indicador se le asigna un peso idéntico. La evaluación global se expresa en una escala de 1 a 5.

Atendiendo a la complejidad de los sistemas de supervisión industrial y al hecho de que un diseño ineficaz de la interfaz puede provocar el error humano, la evaluación global de una interfaz de supervisión debería situarse en un valor inicial de 3-4 y proponer medidas de mejora para acercarse al 5. En la Tabla 38 se obtiene el resultado de la evaluación de la guía GEDIS de acuerdo a la Ecuación 23.

$$Eval_global = \frac{\sum_{i=1}^{10} p_i * ind_j}{\sum_{i=1}^{10} p_j}$$

Ecuación 23

El resultado de la evaluación indica que el diseño de HMI es satisfactorio y apto para ser implementado en el sistema de bobinado de la empresa CODIEMPAQUES DEL ECUADOR CIA. LTDA.

Tabla 38
Resultado de indicadores de la guía GEDIS

| NÚMERO | INDICADOR | PESO | VALOR |
|--------|--------------------------------------|------|-------|
| 1 | Arquitectura | 2 | 4,8 |
| 2 | Distribución de Pantallas | 1 | 3,4 |
| 3 | Navegación | 1 | 5,0 |
| 4 | Uso de fuentes e información textual | 1 | 2,8 |

| INDICADORES EVALUACIÓN GLOBAL |
|-------------------------------|
|-------------------------------|

| |
|------|
| 4,17 |
|------|

CAPÍTULO IV

IMPLEMENTACIÓN

Para la implementación del sistema de bobinado en la línea de producción Extruder #1 se ha considerado estándares y normas para cada una de las etapas del sistema de bobinado los mismos serán expuestos en el presente capítulo.

1. NORMAS

De acuerdo a la norma ISO / IEC 24702 empleada para la automatización industrial, control de procesos, cableado para edificios industriales y vigilancia. Todas las conexiones deben ser aseguradas contra el aflojamiento accidental, la correcta identificación y codificación de los conductores, a continuación se exponen los principales aspectos de esta norma.

- a. El uso de borneras o clemas en conexiones de circuitos de maniobra, circuitos de baja potencia se realiza de acuerdo a la sección y naturaleza del conductor. Las borneras de la Figura 61 presentan resistencia a los aflojamientos debidos a vibraciones, efectos de variación térmica y **corrosión electrolítica**.

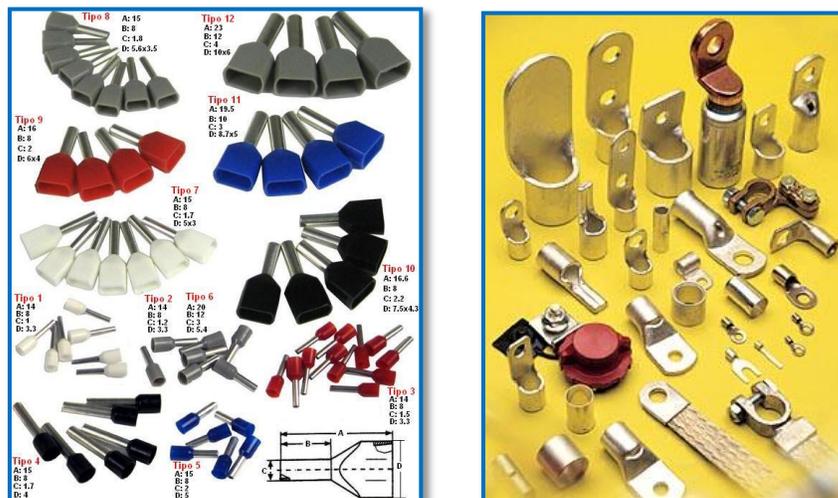


Figura 61. Terminales para cables eléctricos
Fuente. Catalogo Schneider

- b. La conexión de dos o más cables en un mismo borne está prohibida a menos que el borne este diseñado para dicha conexión, se recomienda el uso de terminales o punteras, especialmente en conductores flexibles para su conexión. Para la conexión de más de dos cables en único punto se utilizarán bornes especiales o distribuidores preparados para el efecto indicado en la Figura 62.



Figura 62. Clemas para la interconexión de cables
Fuente. Catalogo Schneider

- c. Todos los cables deben ir adecuadamente identificados según el medio en que se encuentren, las etiquetas deben coincidir con los diagramas eléctricos. Cada

conductor o grupo de conductores lleva un número único igual en todo su recorrido y distinto de otras conexiones mostrado en la Figura 63.



Figura 63. Marcadores tipo anillo para cables
Fuente. Catalogo Schneider

- d. Para la conexión de dispositivos externos con el gabinete de control se debe emplear bornes de conexión o combinaciones base clavija, como se muestra en la Figura 64. Los bornes de interconexión con elementos exteriores del gabinete deberán dividirse en circuitos de potencia y circuitos de mando alimentados por fuentes externas.



Figura 64. Conectores Industriales
Fuente. Catalogo HARTING

- e. Los canales para el cableado del interior del tablero deben ser de materiales aislantes y accesibles para el operador desde la parte delantera del armario para hacer modificaciones como se observa en la Figura 65. Se debe prever un espacio libre

para reserva del 20% del total de su volumen y en ningún caso se debe superar un llenado superior al 90% del volumen útil del canal.



Figura 65.- Canaleta ranurada para sujeción de cables
Fuente. Catálogo de Schneider

- f. Para señalar los distintos circuitos se debe utilizar obligatoriamente el siguiente código de colores para los conductores unifilares como se muestra en la Tabla 39.

Tabla 39
Código de color de conductores industriales

| COLOR | TIPO DE CIRCUITO |
|-------------------------|--|
| Azul claro | Neutros de circuitos de potencia |
| Negro | Conductores activos de circuitos de potencia en CA y CC. |
| Rojo | Circuitos de mando en corriente alterna. |
| Azul | Circuitos de mando en corriente continua. |
| Naranja | Circuitos de enclavamiento de mando alimentados desde una fuente externa de energía. |
| Amarillo / Verde | Conductores de protección (Tierra). |

Mangueras multi conductoras. En este caso deben ir obligatoriamente identificadas mediante marcas en los cables u otros colores.

- g. Se prohíbe los empalmes de cualquier tipo entre conductores dentro de canales o conductores, se debe disponer de borneras fuera de las canaletas para estas realizar los empalmes.
- h. Cuando sea necesario derivar cables de un punto dado para su distribución, se utilizaran colectores de barras, bornes puenteables o barras de distribución diseñados para soportar los esfuerzos mecánicos y térmicos de la intensidad del cortocircuito máximo previsible en dicho punto. En toda su longitud se dimensionará para una intensidad nominal como mínimo igual a la intensidad de corte de la protección de sobrecarga dispuesta inmediatamente aguas arriba.
- i. Las mallas o cubiertas de los cables apantallados o blindados no podrán ser utilizados bajo ningún concepto como conductores de protección, aunque deben ser conectados obligatoriamente a tierra.
- j. La sección mínima de los conductores para circuitos de control, según la norma UNE-EN60204-1 13.6 es de $1,5 \text{ mm}^2$.
- k. Deberá colocarse un interruptor general o dispositivo de seccionamiento del sistema. Igualmente deberá existir un dispositivo de seccionamiento para cada grupo principal de colectores de cables, colectores de barras, distribuidores.
- l. Deberán proporcionarse medidas para impedir cualquier modificación y pérdidas de información en los dispositivos de control programables por personal no autorizado.
- m. El equipo que utiliza lógico programable debe disponer de medidas para verificar que el programa está de acuerdo con la documentación del programa correspondiente.
- n. Los interruptores protectores de la línea deberán tener respuesta adecuada al corte y cierre con tiempos de respuesta suficientemente cortos.

2. MONTAJE DE ELEMENTOS MECÁNICOS

2.1. TRANSMISIÓN ENTRE MOTOR DE INDUCCIÓN Y EJE DE ROTACIÓN DEL CARRETE

Según las dimensiones de la base del motor de inducción de la marca MOTIVE se necesita cuatro orificios de 5 mm de diámetro, y la distancia entre la base del motor y eje del carrete es determinada por la banda. En la Figura 66 se observa la transmisión entre el motor de inducción y el eje del carrete con una banda de relación de cinco a uno.



Figura 66. Transmisión mecánica motor de inducción eje de carrete

2.2. TRANSMISIÓN ENTRE ENCODER Y EJE DE ROTACIÓN DEL CARRETE

La separación entre el encoder y el eje del carrete es determinada mediante el modelo de la banda, en cuyo caso se puede verificar la separación entre centros para la perforación en la platina. La Figura 67 muestra la instalación del encoder y el eje de rotación.



Figura 67. Transmisión mecánica entre encoder incremental y eje de carrete

3. MONTAJE DE ELEMENTOS ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS

3.1.MONTAJE DEL TABLERO PRINCIPAL

El tablero principal se instaló en el gabinete de control para protección de dispositivos de campo contra agentes externos de polvo, agua, golpes accidentales de operadores. Los dispositivos colocados en el tablero son:



Figura 68. Distribución de dispositivos eléctricos y electrónicos en el tablero industrial

- ✚ Autómatas
- ✚ Controlador de motor a pasos
- ✚ Fuente de Alimentación de Potencia
- ✚ Fuente de Alimentación de Control
- ✚ Variadores de frecuencia
- ✚ Interruptores termo magnéticos
- ✚ Clemas

Las canaletas y rieles para los todos los dispositivos ubicados dentro del gabinete están distribuidos en una platina de 1500 x 650 mm, la disposición de los elementos se realizó en función a los planos de distribución física de dispositivos de la Figura 68 y planos eléctricos del Anexo M, los mismos que fueron realizados en Autcad Electrical en escala real y unidades milímetros.

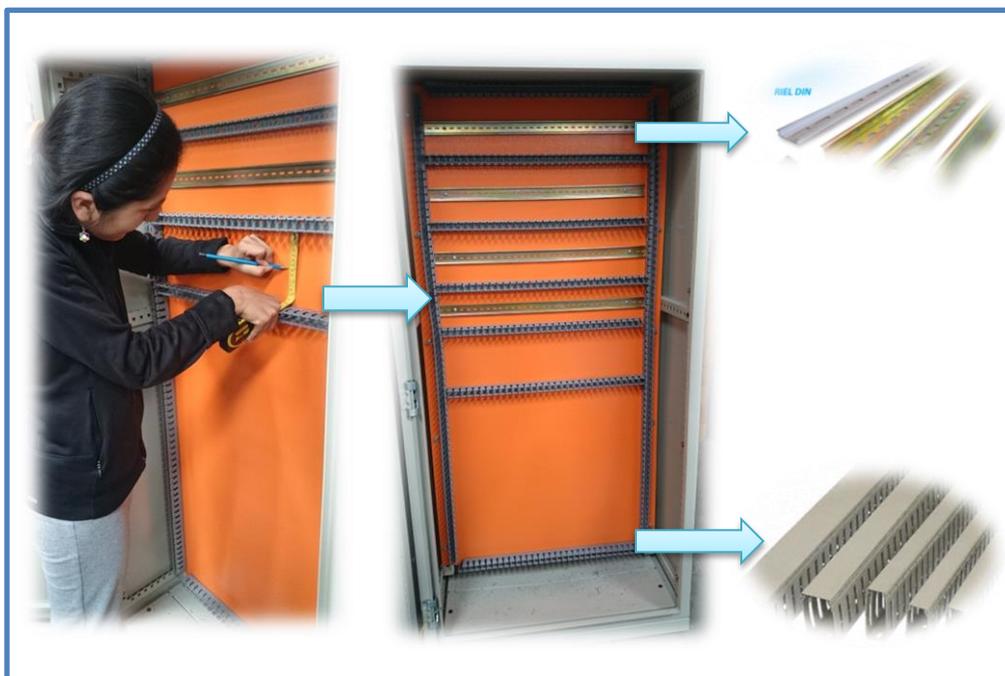


Figura 69. Canaleta y riel DIN para la fijación de dispositivos eléctricos y electrónicos en parte frontal de tablero industrial.

En la Figura 69 se observa la distribución de riel DIN de 1,5 pulgadas de acuerdo a las especificaciones de los equipos eléctricos y electrónicos. La canaleta seleccionada es de 60 x 40 mm según la norma mencionada en el literal e).

La canalización de los motores de inducción, motores a pasos, sensores y paneles de operador se realizó por medio de una canaleta ranurada de 80 x 60 mm, con el objetivo de proteger los conductores de agentes externos, mostrado en la Figura 70.



Figura 70. Canalización externa de actuadores y sensores

El cableado del tablero industrial frontal y posterior del sistema de bobinado se muestra en la Figura 71, a la izquierda se encuentra el tablero de control y a la derecha el tablero de potencia.

Los conectores facilitan que el transporte de la máquina se realice de forma segura evitando ruptura de los circuitos y cableado, de esta forma los sensores y actuadores pueden ser desmontados con facilidad. Los conectores de la parte inferior derecha de la Figura 72 indican la conexión de motores a pasos y motores de inducción; en el centro se conectan paneles de operador; en la parte superior derecha se conectan los sensores inductivos y encoders incrementales.



Figura 71. Cableado de tablero frontal y posterior de izquierda a derecha.

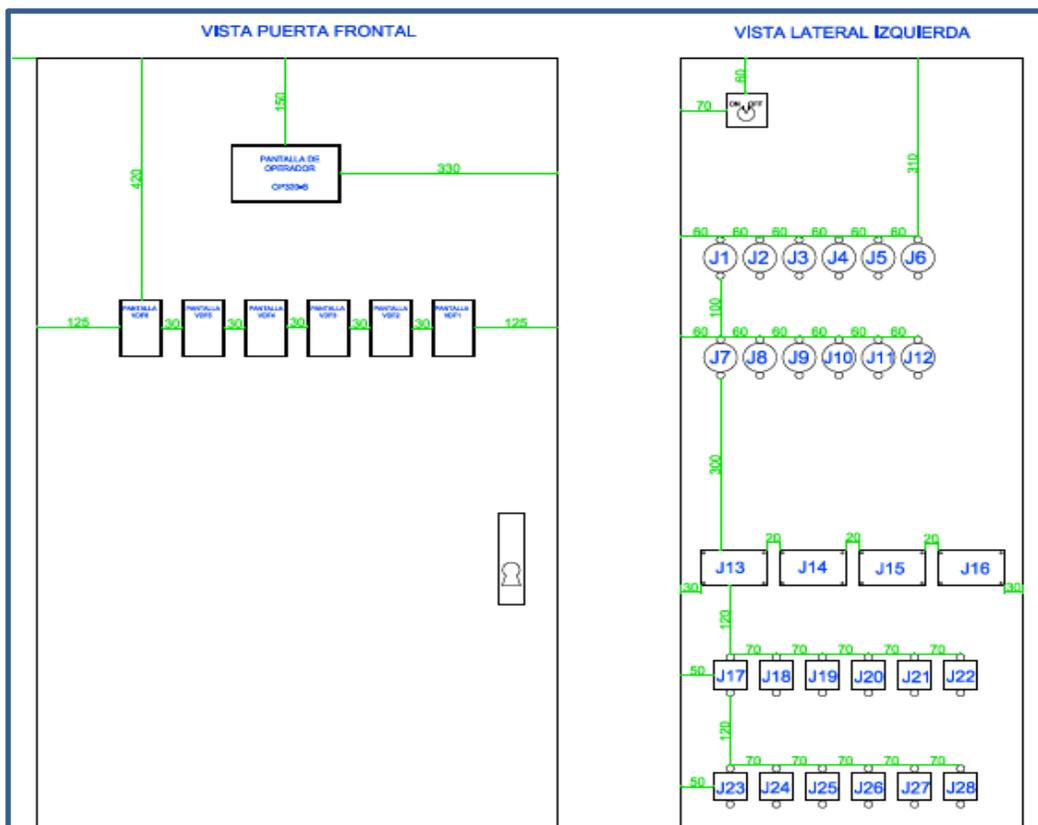


Figura 72. Disposición de conectores para actuadores y sensores (unidades en mm)

Finalmente los conectores, pantallas de variadores de frecuencia y pantalla de operador se muestran en la Figura 73.



Figura 73. Conectores externos y distribución de pantallas

3.2.MONTAJE DE SENSORES INDUCTIVOS

El sensor inductivo de tipo NPN es colocado en la parte inferior del soporte del husillo de bolas indicando la posición inicial según se muestra en la Figura 74, de igual manera para todos los bobinadores del sistema.



Figura 74. Posicionamiento del sensor Inductivo

3.3.MONTAJE DE PANEL DE OPERADOR

El panel de operador tiene seis elementos de control y maniobra, el contador de distancias longitudinales recibe una señal de pulsos de un encoder incremental de la línea de producción anterior, la cual indica la longitud de fleje producida, dos pulsadores normalmente abiertos, el verde permite iniciar el proceso de bobinado y el rojo permite reiniciar la cuenta del contador de metros. Un selector de dos posiciones permite encender o apagar el controlador de motor a pasos, un indicador luminoso de color verde indica que el bobinador está en funcionamiento, por último un pulsador normalmente cerrado con enclavamiento para detener el proceso en cualquier instante. En la Figura 75 se observa la distribución de cada elemento mencionado.



Figura 75. Panel de Operador de Bobinadora #1

3.4.ACABADOS

El sistema de bobinado fue restaurado de forma completa, a través del removimiento de grasa con impurezas, oxido en la estructura y deformaciones en las láminas de tol de paredes y techo. En Figura 76 se comprueba el estado del sistema de bobinado.



Figura 76. Sistema de bobinado de 3 partes antes de restauración

Posteriormente al sistema de bobinado se cubrió de pintura para evitar el óxido de la estructura dividida en dos partes de acuerdo a la Figura 77 .



Figura 77. Sistema de bobinado en el área de pintura

A excepción de poleas y soportes de husillos de bolas toda la estructura fue pintada de color azul como se observa en la Figura 78, el sistema de bobinado en la etapa final.



Figura 78. Sistema de Bobinado en la etapa terminal

4. INTEGRACIÓN DE HMI

Una vez diseñado y creado la interfaz humana máquina en el software OP Series Edit Tool de la pantalla OP-320S, se procede a configurar el puerto de conexión según el puerto físico en el que se conectó en el ordenador la Figura 79.

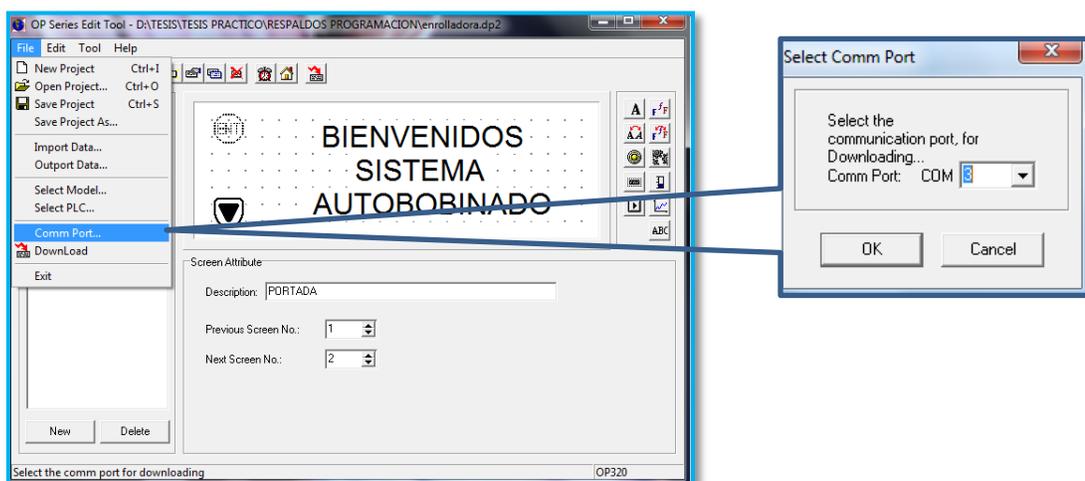


Figura 79. Configuración de Puerto de Conexión

Posteriormente se ubica en la barra de herramientas sobre el botón descargar indicado en la Figura 80, el programa ya descargado funciona independientemente del ordenador.

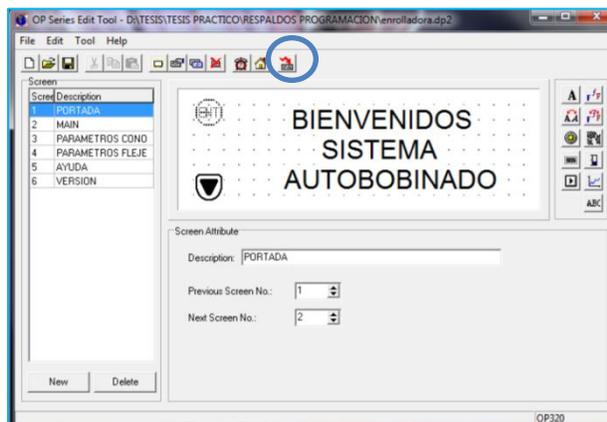


Figura 80. Botón descargar de la barra de herramientas
Fuente: Propia

5. PUESTA EN MARCHA

Para el encendido y funcionamiento del sistema de bobinado de fleje tipo PP en la línea de producción se ha tomado en cuenta los aspectos:

- ✚ *Configuración de Parámetros:* CARRETE: 180 mm, FLEJE: 12 mm. La producción actual requiere un carrete bobinado de 2500 metros de fleje, de acuerdo a estos parámetros se configuró el panel de operador y panel de control.

- ✚ *Calibración:* Para realizar la calibración y ajustes se utilizó la información recabada del funcionamiento expuesta por los operadores en los siguientes literales:

- a. *Calibración del Husillo de Bolas.-* Para el proceso de posicionamiento del guía fleje se debe alinear la estructura del husillo de bolas con el carrete, mediante la perilla indicada en la Figura 81. Sin embargo también se puede posicionar la guía del fleje a lo largo del tornillo sin mover la estructura si la longitud del carrete permite dicho movimiento.



Figura 81.- Calibración de guía fleje

- b. Calibración de transmisión de movimiento de encoder.- El engranaje colocado en el eje del encoder debe estar alineado correctamente con el engranaje colocado en el eje de movimiento del carrete, de esta forma el eje del encoder no sufrirá ninguna fatiga ni deformación a causa del movimiento del eje del carrete. En la Figura 82 se observa la alineación en el bobinador #1.



Figura 82. Alineación de encoder y eje de carrete

- c. Calibración de transmisión de movimiento de motor trifásico.- La polea colocada en el eje del carrete debe estar alineado correctamente con la polea del motor trifásico de inducción, de esta forma la polea conectada al motor transmitirá todo el par al eje del carrete. En la Figura 83 se observa la alineación en el bobinador #1.



Figura 83. Alineación de polea del eje del carrete y motor trifásica

✚ *Funcionamiento de Sistema Eléctrico.*- Para la revisión del sistema eléctrico se realiza pruebas de cortocircuito y de niveles de tensión en uno de los dispositivos eléctricos y electrónicos.

- a. *Conexiones Eléctricas.*- Para verificar si las conexiones están de acuerdo a los planos eléctricos se comprobó continuidad y niveles de voltaje de acuerdo al diseño.
- b. *Funcionamiento del PLC.*- Se puede comprobar las señales de entrada provenientes de sensores inductivos, pulsadores y encoder de acuerdo al panel del PLC que enciende el correspondiente número de entrada. Las salidas de acuerdo a la lógica de programación también encenderán un led de la pantalla de PLC indicando la activación de la misma. En la Figura 84 se observa la activación de entradas y salidas del PLC.



Figura 84.- Activación de entradas y salidas de PLC

- c. Funcionamiento del Variador de Frecuencia.- De acuerdo al manual de operación del variador de frecuencia en el Anexo G se comprueba la conexión de las pantallas de ingreso de datos de cada variador de frecuencia a través de la configuración de parámetros. Según la Figura 85 se comprueba el funcionamiento de variadores de frecuencia.



Figura 85.- Comprobación de variador de frecuencia

- d. Funcionamiento del Controlador de Motor a pasos.- El funcionamiento del dispositivo se determina mediante un LED indicador de fallos de sobre corriente y sobre carga de motor. En el Anexo K se detalla los indicadores del controlador.

La Figura 86 indica el bobinado compacto de fleje PP de 12 mm en cono de 180 mm en el bobinador #1.



Figura 86. Bobinado de fleje de 12 mm en carrete de 180 mm

CAPÍTULO VI

PRUEBAS Y RESULTADOS

Después de la fase de implementación del sistema de bobinado, es importante evaluar la confiabilidad y calidad de los carretes bobinados, para posteriormente ser distribuidos comercialmente; para lo cual se aplicó pruebas continuas debido a que el sistema funcionará las 24 horas, 5 días a la semana, respetando todas las sugerencias y condiciones de funcionamiento que se indica en el manual de usuario en el ANEXO M.

1. PRUEBAS Y RESULTADOS

En esta sección se indica las pruebas efectuadas al sistema mecánico, eléctrico y de comunicación, para el correcto funcionamiento en forma parcial y en conjunto con todos los dispositivos del sistema de bobinado en la línea de producción EXTRUDER #1.

Finalmente se analizarán los datos de las pruebas y comprobar el rendimiento del sistema de bobinado.

1.1. PRUEBAS Y RESULTADOS DEL SISTEMA MECÁNICO

Se realizaron pruebas de confiabilidad de forma que los sistemas mecánicos no causen esfuerzos excesivos a los controladores electrónicos de los motores, y provoquen fallos

en el transcurso de la jornada de pruebas. Los resultados del sistema mecánico sobre el husillo de bolas y sistema de enrollamiento permiten la calibración y regulación de los controladores.

1.1.1. PRUEBAS Y RESULTADOS DEL HUSILLO DE BOLAS

El mal funcionamiento del husillo de bolas provoca sobrecarga en el controlador de motor a pasos, por otra parte si el posicionamiento es mayor al ancho del carrete, el fleje es bobinado fuera de carrete produciendo errores en el bobinado.

La prueba consiste en realizar posicionamientos del guía fleje para carretes de 200, 180 y 150 mm de ancho sin fleje. Las pruebas se realizaron durante 8 días, con 100 repeticiones diarias, distribuidas según la Tabla 40.

Tabla 40
Pruebas de posicionamiento para husillo de bolas

| Día | Carrete (mm) | Posicionamiento Correcto | Posicionamiento Incorrecto | Total Pruebas |
|----------|--------------|--------------------------|----------------------------|---------------|
| 1 | 200 | 28 | 2 | 30 |
| | 180 | 37 | 3 | 40 |
| | 150 | 28 | 2 | 30 |
| 2 | 200 | 29 | 1 | 30 |
| | 180 | 38 | 2 | 40 |
| | 150 | 29 | 1 | 30 |
| 3 | 200 | 29 | 1 | 30 |
| | 180 | 38 | 2 | 40 |
| | 150 | 29 | 1 | 30 |
| 4 | 200 | 28 | 2 | 30 |
| | 180 | 37 | 3 | 40 |
| | 150 | 28 | 2 | 30 |
| 5 | 200 | 29 | 1 | 30 |
| | 180 | 38 | 2 | 40 |
| | 150 | 29 | 1 | 30 |
| 6 | 200 | 28 | 2 | 30 |
| | 180 | 37 | 3 | 40 |
| | 150 | 28 | 2 | 30 |

Continúa →

| | | | | |
|--------------|-----|-----|----|-----|
| 7 | 200 | 29 | 1 | 30 |
| | 180 | 38 | 2 | 40 |
| | 150 | 29 | 1 | 30 |
| 8 | 200 | 29 | 1 | 30 |
| | 180 | 38 | 2 | 40 |
| | 150 | 28 | 1 | 30 |
| TOTAL | | 759 | 41 | 800 |

En el conjunto mecánico husillo de bolas se realizaron pruebas de confiabilidad y repetitividad sobre un conjunto de 800 muestras. Para un cono de 200 mm tiene una precisión de 95,42%; para un cono de 180 mm una precisión de 94,06%, para un cono de 150 mm una precisión de 95%.

1.1.2. PRUEBAS DE ENROLLAMIENTO

La prueba consiste en arrancar al sistema de enrollamiento desde el panel de operador, en primera instancia sin fleje durante ocho días. Posteriormente se realizó pruebas de funcionamiento con fleje. El objetivo de la prueba es verificar si el sistema mecánico funciona correctamente, alineación y tensión de la banda que transmite el movimiento, además de la coordinación de señales entre autómatas y variador de frecuencia.

Tabla 41
Pruebas de sistema de enrollamiento

| Día | Sin FLEJE | | | Con FLEJE | | |
|--------------|-----------|------------|---------------|-----------|------------|---------------|
| | Correcto | Incorrecto | Total pruebas | Correcto | Incorrecto | Total pruebas |
| 1 | 100 | 0 | 100 | 12 | 3 | 15 |
| 2 | 96 | 4 | 100 | 13 | 2 | 15 |
| 3 | 98 | 2 | 100 | 13 | 2 | 15 |
| 4 | 99 | 1 | 100 | 14 | 1 | 15 |
| 5 | 100 | 0 | 100 | 14 | 1 | 15 |
| 6 | 100 | 0 | 100 | 13 | 2 | 15 |
| 7 | 100 | 0 | 100 | 14 | 1 | 15 |
| 8 | 100 | 0 | 100 | 14 | 1 | 15 |
| TOTAL | 793 | 7 | 800 | 109 | 11 | 120 |

Los resultados del sistema de enrollamiento indican un 99,13% de repetitividad en ocho días de pruebas sin fleje y 90,83% con fleje según la Tabla 41.

1.2.PRUEBAS Y RESULTADOS DEL SISTEMA ELÉCTRICO Y ELECTRÓNICO

Para cada uno de los dispositivos eléctricos y electrónicos se realizaron pruebas de funcionamiento, niveles voltaje y de corto circuito.

1.2.1. PRUEBAS Y RESULTADOS DEL PANEL DE OPERADOR

Se realizaron pruebas manuales para comprobar el funcionamiento de cada uno de los pulsadores, interruptores del panel de operador en todo el sistema de bobinado, para evitar que señales de ruido extrañas afecten al autómeta y activen procesos innecesariamente. Las señales fueron probadas mediante el uso de un multímetro con la opción de continuidad.

El sistema de bobinado trabajó durante ocho días sin presentar ningún problema en el panel de operador, cumpliendo al 100% la operatividad del sistema.

1.2.2. PRUEBAS Y RESULTADOS DE PANEL DE CONTROL

Se realizaron pruebas de funcionamiento de todas las pantallas de control de los variadores de frecuencia, verificando parámetros del motor, operación y arranque.

La conexión de las pantallas de los variadores de frecuencia se realiza mediante cable UPT con terminales RJ45, por consiguiente se procede a la verificación de los claves. Finalmente el panel de control fue probado durante ocho días sin presentar ningún error en su funcionamiento.

1.2.3. PRUEBAS DE SENSORES INDUCTIVOS

La prueba consiste en el acercamiento de una pieza metálica en el extremo del husillo de bolas, cuando el guía fleje está en la posición inicial el sensor se activa.

Mediante el indicador luminoso del sensor inductivo se realizaron pruebas de detección del fin del husillo de bolas. En la Tabla 42 se observa las pruebas de detección realizadas a 6 sensores inductivos.

Tabla 42
Pruebas de detección del sensor inductivo

| Sensor Inductivo | Número de pruebas | Detecta | No Detecta |
|------------------|-------------------|---------|------------|
| 1 | 30 | 30 | 0 |
| 2 | 30 | 30 | 0 |
| 3 | 30 | 30 | 0 |
| 4 | 30 | 30 | 0 |
| 5 | 30 | 30 | 0 |
| 6 | 30 | 30 | 0 |

Los resultados de las pruebas realizadas a los sensores inductivos demuestran la efectividad del 100% en la detección de objetos metálicos.

1.2.4. PRUEBAS DE SENSOR ENCODER

Las pruebas realizadas sobre el sensor encoder determinan si el número de pulsos por vuelta es igual al número de pulsos de la hoja técnica.

Se realizaron pruebas de rotación para comprobar si el controlador recibe el número de pasos por vuelta indicado en la hoja técnica del equipo. La Tabla 43 indica el resultado de las pruebas de detección realizado a 6 sensores encoder, con 30 pruebas repeticiones a cada uno, obteniendo una precisión de 99,88% en la lectura.

Tabla 43
Pruebas de detección de pulsos en sensor encoder

| Sensor Encoder | Número de pruebas | Número de pulsos hoja técnica | Número de pulsos/ vuelta |
|-----------------|-------------------|-------------------------------|--------------------------|
| 1 | 30 | 400 | 400 |
| 2 | 30 | 400 | 399 |
| 3 | 30 | 400 | 399 |
| 4 | 30 | 400 | 400 |
| 5 | 30 | 400 | 400 |
| 6 | 30 | 400 | 399 |
| Promedio | | | 399,5 |

1.2.5. PRUEBAS DE CALIBRACIÓN DEL CONTROLADOR DE MOTOR A PASOS

Para las pruebas sobre la calibración del controlador de motor a pasos se considera los parámetros más importantes (Resolución de número de pulsos y corriente dinámica), y la velocidad máxima de respuesta del motor, indicado en la Tabla 44.

Tabla 44
Pruebas de configuración de parámetros de controlador

| Resolución de pulsos | Corriente dinámica | Velocidad máx desde controlador | Características |
|----------------------|--------------------|---------------------------------|--|
| 200 | 2,3 | 2000 | Bajo calentamiento, velocidad baja |
| 200 | 3 | 2200 | Bajo calentamiento, velocidad baja |
| 200 | 3,6 | 2600 | Excesivo calentamiento, velocidad media |
| 400 | 2,3 | 3000 | Calentamiento moderado, velocidad baja |
| 400 | 3 | 3300 | Calentamiento moderado, , velocidad baja |
| 400 | 3,6 | 3500 | Excesivo calentamiento, velocidad media |

Continúa →

| | | | |
|------------|-----|------|---|
| 800 | 2,3 | 3600 | Excesivo calentamiento, velocidad baja |
| 800 | 3 | 3800 | Calentamiento moderado, velocidad media |
| 800 | 3,6 | 4100 | Bajo calentamiento, velocidad alta |

Según las pruebas de configuración realizadas al controlador del motor a pasos se determina una corriente dinámica de 3,6 A y una resolución de pulsos de 800 en función a un bajo calentamiento del motor y velocidad alta de acuerdo a la aplicación.

1.3.PRUEBAS Y RESULTADOS SISTEMA DE COMUNICACIÓN

Las pruebas realizadas en el sistema de comunicación permiten comprobar que la transferencia de datos entre autómatas y panel de control sea confiable, a través de códigos enviados desde el autómata maestro y esclavo.

1.3.1. PRUEBAS Y RESULTADOS DE COMUNICACIÓN MODBUS

En la red de comunicación MODBUS el autómata maestro recibe parámetros desde el HMI; por medio de la recepción de un número codificado (#23) enviado desde el autómata esclavo hacia el autómata maestro, en respuesta a la lectura de los parámetros en el autómata esclavo.

Al finalizar las pruebas de comunicación se obtuvo un desempeño del 100% en la transferencia de datos.

1.3.2. PRUEBAS Y RESULTADOS DE FUNCIONAMIENTO DEL HMI

Se realizaron pruebas con un voltímetro para comprobar la alimentación de 24Vdc, por otra parte los botones de la pantalla fueron probados manualmente mediante la pulsación de cada uno.

Los parámetros de carrete y fleje están definidos dentro de un rango en el controlador maestro, para evitar la recepción de datos incorrectos.

1.4. PRUEBAS Y RESULTADOS DEL SISTEMA DE BOBINADO

Las pruebas realizadas al sistema de bobinado consisten en bobinar fleje tipo PP de 12mm en carrete de 180 mm y 200 mm, con el objetivo de determinar el número de rollos reprocesados.

Tabla 45
Producción en el sistema de bobinado de la línea Extruder #1

| Semana | Carrete(mm) | Rollos reprocesados | Rollos producidos |
|-----------------|-------------|---------------------|-------------------|
| Semana 1 | 200 | 2 | 27 |
| Semana 2 | 200 | 1 | 29 |
| Semana 3 | 200 | 1 | 28 |
| Semana 4 | 200 | 1 | 29 |
| TOTAL | | 5 | 115 |
| Semana 5 | 180 | 2 | 28 |
| Semana 6 | 180 | 2 | 27 |
| Semana 7 | 180 | 1 | 29 |
| | | | Continúa → |

| | | | |
|---------------------------|-----|---|-----|
| Semana 8 | 180 | 1 | 28 |
| TOTAL | | 6 | 114 |

El sistema de bobinado será sometido a pruebas de funcionamiento durante 2 meses, a trabajo continuo según indica la Tabla 45. En el primer mes se trabajó con un carrete de 200 mm obteniendo un total de rollos reprocesados del 5%, y en el segundo mes se obtuvo un 4,16% de rollos reprocesados de la producción total de un hilo de fleje.

CAPÍTULO VI

ANÁLISIS COSTO BENEFICIO

En este capítulo se analizará el costo/beneficio del proyecto, tomando como referencia el detalle de costos, materiales y elementos utilizados para la automatización. Es preciso mencionar que se consideraron dos aspectos importantes en cuanto a la adquisición de los equipos, el primero su disponibilidad en el mercado y el segundo el tiempo de recuperación de la inversión mediante el desempeño de los mismo.

1. DETALLE DE LA INVERSIÓN PARA LA AUTOMATIZACIÓN

Para determinar el costo de la inversión de la automatización, es necesario considerar todos los costos que incurrieron a lo largo del proyecto, los elementos de costo de un producto o sus componentes son:

- ✚ Costos Directos
- ✚ Costos Indirectos`

1.1. COSTOS DIRECTOS

Estos costos son asociados a la puesta en marcha del sistema de bobinado extruder #1, de esta forma se los dividió en:

- ✚ Costos de materiales
- ✚ Costos de herramientas y equipos
- ✚ Mano de obra

1.1.1. COSTOS DE MATERIALES

✚ MATERIALES MECÁNICOS

En la Tabla 46 se muestra de forma detallada los materiales mecánicos empleados:

Tabla 46
Costo de Materiales Mecánicos

| Ítem | Cantidad | Descripción | Valor Unitario | Valor Total |
|-------------------------------------|----------|------------------------------------|----------------|-------------|
| 1 | 6 | Piñón de Aluminio | 60,00 | 360,00 |
| 2 | 6 | Base de Encoder | 5,00 | 30,00 |
| 3 | 6 | Garruchas | 15,00 | 90,00 |
| 4 | 30 | Pernos Allen ½’’ | 0,10 | 3,00 |
| 5 | 30 | Rodela plana | 0,05 | 1,50 |
| 6 | 30 | Pernos M3 con arandela y tuerca | 0,09 | 2,70 |
| 7 | 30 | Tornillo auto perforante de ¾’’ | 0,08 | 2,40 |
| 8 | 2 | Disco de corte | 15,00 | 30,00 |
| 6 | 1 | Destornillador de base hexagonal | 2,70 | 2,70 |
| 7 | 5 | Broca de cobalto | 1,50 | 7,50 |
| 8 | 7 | Broca de Hierro 3/16 | 0,90 | 6,30 |
| 9 | 21 | Pintura para metal con brillo azul | 7,20 | 14,40 |
| 10 | 3l | Solvente de pintura | 1,00 | 3,00 |
| 11 | 2 | Pintura spray azul | 2,20 | 4,40 |
| 12 | 5 | Lija de agua 180 | 0,35 | 1,75 |
| 13 | 6 | Polea | 1,50 | 9,00 |
| 14 | 6 | Polea | 1,00 | 6,00 |
| 15 | 6 | Banda dentada rectangular | 2,50 | 15,00 |
| 16 | 1 | Lima plana y circular para metal | 8,00 | 8,00 |
| Valor Total de Materiales Mecánicos | | | | 597,65 |

✚ MATERIALES ELÉCTRICOS

Mediante la Tabla 47 se detallan los materiales eléctricos necesarios para la puesta en marcha del sistema.

Tabla 47
Costo de Materiales Electrónicos

| Ítem | Cantidad | Descripción | Valor Unitario | Valor Total |
|------|----------|--|----------------|-------------|
| 1 | 1 | Tablero modular para 160x120x60cm | 500,00 | 500,00 |
| 2 | 4 | Breaker P/RIEL 10A | 7,45 | 29,8 |
| 3 | 6 | Breaker P/RIEL 6A | 16,15 | 96,9 |
| 4 | 2 | Breaker P/RIEL 3A | 10,15 | 20,30 |
| 5 | 2 | Breaker P/RIEL 40A | 17,40 | 34,80 |
| 3 | 12 | Canaleta ranurada gris 24x40mm | 4,91 | 58,92 |
| 4 | 4 | Canalera ranurada gris 80x60mm | 6,20 | 24,80 |
| 5 | 4 | Porta fusibles CAMSCO | 1,50 | 6,00 |
| 6 | 4 | Fusible de 2A 500V | 0,35 | 1,40 |
| 7 | 6 | Pulsador verde CAMSCO | 1,60 | 9,60 |
| 8 | 6 | Pulsador paro rojo CAMSCO | 2,00 | 12,00 |
| 9 | 6 | Pulsador Emergencia Hongo con retención | 2,40 | 14,40 |
| 10 | 6 | Selector 2 posiciones con maneta corta | 15,70 | 15,20 |
| 11 | 6 | Baliza roja fija de 220V | 23,90 | 143,40 |
| 12 | 1 | Seccionador rotativo de 40A | 3,00 | 3,00 |
| 13 | 1 | Toma de corriente industrial | 12,40 | 12,40 |
| 14 | 1 | Caja de borneras de tornillo para riel | 26,90 | 26,90 |
| 15 | 6 | Barra equipotencial para bornera | 5,00 | 30,00 |
| 16 | 1 | Paquete de amarras | 7,95 | 7,95 |
| 17 | 1 | Paquete de espiral para cable (mínimo 2) | 7,99 | 7,99 |
| 18 | 1 | Paquete de espiral de cable (mínimo 5) | 8,02 | 8,02 |
| 19 | 1 | Paquete de espiral de cable grande (mínimo 12) | 9,30 | 9,30 |
| 20 | 2 | Marcadores tipo anillo 0,1,2,3,4,5,6,7,8,9 | 2,25 | 40,50 |
| 21 | 1 | Libreta de marcadores adhesivos alfanumérico | 6,80 | 6,80 |
| 22 | 400 mts | Cable flexible #16 AWG verde | 0,24 | 96,00 |
| 23 | 400 mts | Cable flexible #18 AWG amarillo | 0,17 | 68,00 |
| 24 | 10 mts | Cable flexible #12 AWG rojo 600V | 2,30 | 23,00 |
| 25 | 20 mts | Cable UTP categoría 5E | 0,50 | 10,00 |
| 26 | 20 | Plug para cable de red | 0,38 | 7,60 |
| 27 | 20 | Capuchón para cable de red | 0,38 | 7,60 |
| 28 | 1 | Tarjeta de conexión de encoder | 25,00 | 25,00 |

Continúa



| | | | | |
|--|-----|---|--------|----------|
| 29 | 6 | Cajas para panel de operador | 3,20 | 19,20 |
| 30 | 5 | Espagueti termo encongible para cable # 12 | 0,35 | 1,75 |
| 31 | 5 | Espagueti termo encongible para cable # 18 | 0,30 | 1,50 |
| 32 | 5 | Espagueti termo encongible para cable # 8 | 0,45 | 2,25 |
| 33 | 1 | Cinta para protección de empalmes | 1,20 | 1,20 |
| 34 | 2 | Ventilador de 220VAC | 20,00 | 40,00 |
| 35 | 100 | Conector para cable 18AWG | 0,05 | 5,00 |
| 36 | 100 | Conector para cable 16AWG | 0,06 | 6,00 |
| 37 | 50 | Conector para cable 12AWG | 0,06 | 3,00 |
| 38 | 6 | Motores trifásicos de ½ Hp | 320,00 | 1 920,00 |
| Valor Total de Materiales Electrónicos | | | | 3 505,98 |

1.1.2. COSTO DE HERRAMIENTAS Y EQUIPOS

En la Tabla 48 y Tabla 49 se muestra los costos correspondientes a equipos electrónicos y herramientas empleados durante la puesta en marcha del sistema.

EQUIPOS ELECTRÓNICOS

Tabla 48
Costo de Equipos Electrónicos

| Ítem | Cantidad | Descripción | Valor Unitario | Valor Total |
|-------------------------------------|----------|---|----------------|-------------|
| 1 | 2 | Controlador Lógico Programable XINJE | 550,00 | 1 100,00 |
| 2 | 1 | Pantalla de Operador monocromática OP 320 | 255,00 | 250,00 |
| 3 | 4 | Variador de Frecuencia de ½ Hp 3AC 380 - 440V | 320,00 | 1 280,00 |
| 4 | 4 | Controlador para motor paso a paso (Servo Driver) | 180,00 | 720,00 |
| 4 | 2 | Fuente de Alimentación 10A | 100,00 | 200,00 |
| 5 | 1 | Fuente de Alimentación auxiliar LOGO 24V 5 ^a | 120,00 | 120,00 |
| 6 | 4 | Encoder rotacional HANYOUNG NUX | 150,00 | 600,00 |
| 7 | 4 | Contador de metros HANYOUNG NUX | 125,00 | 500,00 |
| Valor Total de Equipos Electrónicos | | | | 4 590,00 |

HERRAMIENTAS

Tabla 49
Costo de Herramientas para puesta en marcha del sistema

| Ítem | Cantidad | Descripción | Valor Unitario | Valor Total |
|-----------------------------|----------|-------------------------------|----------------|-------------|
| 1 | 1 | Crimpadora para cables de red | 16,10 | 16,10 |
| 2 | 1 | Cautín eléctrico | 12,15 | 12,15 |
| 3 | 1 | Mandril para taladro | 25,00 | 25,00 |
| Valor Total de Herramientas | | | | 53,25 |

1.1.3. COSTOS DE MANO DE OBRA

La mano de obra constituye el factor humano que interviene en actividades relacionadas directamente con la puesta en marcha del sistema de bobinado, en la Tabla 50 se detallan estos costos.

Tabla 50
Costos de Mano de Obra puesta en marcha del sistema

| Ítem | Descripción | Valor Total |
|----------------------------------|--------------------------------------|-------------|
| 1 | Diseño e Ingeniería | 2 000,00 |
| 2 | Dibujo de Planos | 1 100,00 |
| 3 | Programación | 2 000,00 |
| 4 | Implementación de Tablero Industrial | 2 500,00 |
| Valor Total de Costos Indirectos | | 7 600,00 |

1.2. COSTOS INDIRECTOS

Estos costos son los que no tienen una vinculación directa con la fabricación del sistema de bobinado, en definitiva son todos los gastos necesarios para la ejecución de la obra detallados en la Tabla 51:

Tabla 51
Costos Indirectos para la puesta en marcha del sistema

| Ítem | Descripción | Valor Total |
|------|--|-------------|
| 1 | Transporte | 156,00 |
| 2 | Alimentación | 50,00 |
| 3 | Elaboración de rótulos para tablero de control y panel de operador | 12,00 |
| | | Continúa → |

| | | |
|---|------------------------------------|--------|
| 4 | Placa de presentación del proyecto | 3,00 |
| | Valor Total de Costos Indirectos | 221,00 |

En la Tabla 52 se detalla la inversión necesaria para el desarrollo del proyecto tomando en cuenta los costos directos e indirectos para obtener el presupuesto general de la automatización.

Tabla 52
Prepuestos Total de la puesta en marcha del Sistema de Bobinado

| Ítem | Descripción | Valor Total |
|------|--|-------------|
| 1 | Material Mecánico | 597,65 |
| 2 | Material Eléctrico | 3 505,98 |
| 3 | Equipos Electrónicos | 4 590,00 |
| 4 | Herramientas | 53,25 |
| 5 | Mano de Obra | 7 600,00 |
| 6 | Insumos | 221,00 |
| | Presupuesto General de la Automatización | 16 567,88 |

2. ANÁLISIS DE GASTOS DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE BOBINADO

Mediante este análisis se determinara la relación existente entre los ingresos y egresos resultantes de la utilización del sistema de bobinado por parte de la compañía beneficiada del proyecto.

2.1. PRODUCCIÓN DE FLEJE BOBINADO

La línea de bobinado trabaja con cuatro hilos procedentes de la línea de extrusión los mismos que son bobinados las veinte cuatro horas del día en un promedio de veinte cinco minutos por carrete, alcanzándose una producción de aproximadamente, 192 conos bobinados si no se presentan ningún inconveniente durante el proceso.

Anteriormente el sistema de bobinado solo permitía trabajar con tres hilos que eran distribuidos en los cuatro bobinadores en marcha obteniéndose una producción de 144 conos, sin ningún inconveniente.

Tabla 53

Estadísticas de Conos Bobinados con el antiguo sistema de bobinado

| Produccion por mes | Semana 1 Conos | Semana 2 Conos | Semana 3 Conos | Semana 4 Conos | Total Conos/Mes |
|--------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|
| Agosto | 500 | 460 | 450 | 450 | 1860 |
| Septiembre | 500 | 515 | 500 | 500 | 2015 |
| Octubre | 500 | 500 | 420 | 500 | 1920 |
| Promedio de Producción Mensual | | | | | 1931 |

$$Producción_{actual} = 192 \text{ conos}(5 \text{ días})(4 \text{ semanas}) = 3840 \text{ conos}$$

$$Producción_{anterior} = 144 \text{ conos} * (5 \text{ días}) * (4 \text{ semanas}) = 2880 \text{ conos}$$

Mediante la Tabla 53 se puede determinar que la producción generada por la línea de producción no es la adecuada debido a que existe una pérdida de producción, esto se debe a varios factores como:

- ✚ Puesta en marcha y calibración de la línea de extrusión
- ✚ Fallas en la línea de extrusión: mantenimiento correctivo
- ✚ Fleje reprocesado debido a la disponibilidad de bobinadores libres.
- ✚ Imperfecciones en el fleje procesado.
- ✚ Flejes bobinados de forma inadecuada.

Por medio de la puesta en marcha de la nueva línea de bobinado se podrá trabajar de manera más eficiente debido a varios factores como son:

- ✚ Disminución de fleje reprocesado, mayor disponibilidad de bobinadores libres.
- ✚ Aumento de hilos de fleje proporcionados por la línea de extrusión.
- ✚ Flejes bobinador de forma adecuada.

Tabla 54

Estadísticas de conos bobinados durante la puesta en Marcha del nuevo sistema de bobinado

| Produccion por mes | Semana 1 Conos | Semana 2 Conos | Semana 3 Conos | Semana 4 Conos | Total Conos/Mes |
|--------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|
| Noviembre | 900 | 800 | 875 | 840 | 3415 |
| Diciembre | 880 | 815 | - | - | 1695 |

Una vez puesta en marcha la nueva línea del sistema de bobinado la producción aumento aproximadamente en un 25% como se muestra en la Tabla 54, durante el mes y medio de prueba de dicho sistema.

2.2. ANÁLISIS COSTO BENEFICIO

El valor de venta de un carrete de fleje bobinado es de aproximadamente 35 a 45 dólares dependiente del tipo y peso del mismo, los costos de producción de materia prima se muestra a continuación en la Tabla 55.

Tabla 55

Costos de Materia Prima para elaboración de Fleje

| Ítem | Producto | Costo [\$] |
|----------|------------------------------------|------------|
| 1 | 25 kg de Plástico Virgen Granulado | 12,00 |
| 2 | 25 kg Pigmento para plástico | 2,00 |

Es decir que el costo de producción de un cono de 12kg es de aproximadamente 15 dólares tomando en cuenta costos de materia prima, costos de alimentación eléctrica y mano de obra.

La ganancia obtenida por la venta del bobinado será igual al costo de venta del producto menos el costo de producción.

$$Ganancia_{cono} = Costo_{venta} - Costo_{producción}$$

Como ejemplo tomaremos un cono de fleje tipo agrícola de doce kilos cuya ganancia es aproximadamente de:

$$Ganancia_{cono} = 35 - 15 = 20 \text{ dólares}$$

Es decir que mensualmente se obtendrá un ingreso de la línea de bobinado #1 de:

$$Ganancia_{total\ mensual} = Conos_{bobinados.mes} * Ganancia_{cono}$$

$$Ganancia_{total\ mensual} = 3415(20) = 68\ 300\ dólares$$

Anteriormente la ganancia mensual obtenida mensualmente era de:

$$Ganancia_{total\ mensual} = Conos_{bobinados.mes} * Ganancia_{cono}$$

$$Ganancia_{total\ mensual} = 1931(20) = 38\ 620\ dólares$$

Como se muestra la ganancia obtenida con la puesta en marcha del sistema de bobinado es de:

$$Ganancia_{total} = 68\ 300 - 38\ 620 = 29\ 680\ dólares$$

La ganancia obtenida una vez puesta en marcha el nuevo sistema de producción incrementa en un 25% de esta forma se puede determinar una rentabilidad del proyecto, en base al análisis de costos el prepuesto de inversión de 16 567,88 dólares serán recuperados en aproximadamente en el primer trimestre de la puesta en marcha del sistema como se muestra en la Figura 87 y Figura 88.

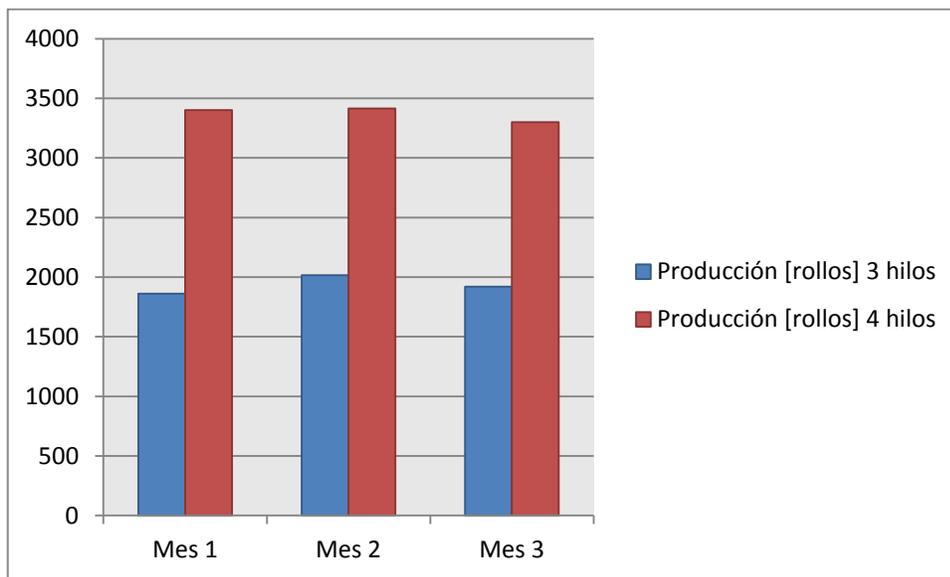


Figura 87. Diagrama de Barras de la Producción de la Línea de Extruder #1
Fuente: Propia

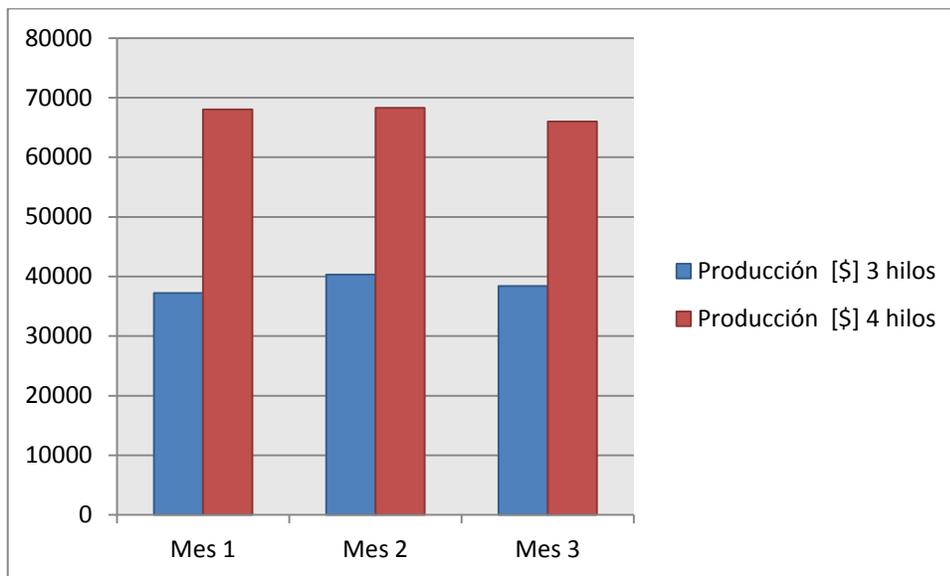


Figura 88. Diagrama de Barras de Producción en dólares
Fuente: Propia

CAPÍTULO VII

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Al finalizar las etapas de diseño, implementación y pruebas mediante la puesta en marcha del presente proyecto se ha podido observar mejoras significativas en el bobinado de fleje tipo PP tanto económicas como de productividad, en comparación con el sistema de ASIC utilizado originalmente en la empresa. Entre las ventajas más significativas conseguidas con la automatización de un sistema de bobinado, se puede destacar las siguientes:

1. CONCLUSIONES

- ✚ El reconocimiento y diagnóstico del comportamiento de cada uno de los componentes eléctricos, electrónicos y mecánicos del sistema de bobinado permitió minimizar costos en el proceso de reingeniería identificando de forma clara componentes que deben ser reemplazados o modificados, y facilitando el levantamiento de información y planos eléctricos.
- ✚ El diseño propuesto en el control de velocidad, cambio de giro, posicionamiento y torque del sistema de bobinado actual aporta una mejora en el proceso de bobinado

al obtener una separación de 1mm entre vueltas de fleje enrollado garantizando un bobinado uniforme requerido para el funcionamiento de máquinas enzunchadoras automáticas de fleje tipo PP de clientes.

- ✚ A través de los criterios de selección evaluados en la matriz morfológica sobre las alternativas de los dispositivos de control y actuadores se logró implementar un sistema eléctrico de control y potencia satisfaciendo los parámetros de diseño planteados.
- ✚ El uso de herramientas CAD para el diseño de los planos eléctricos de acuerdo a la norma ISO / IEC 24702 empleada para la automatización industrial, optimizó la distribución de dispositivos en el gabinete de control cumpliendo las especificaciones técnicas de los dispositivos.
- ✚ La puesta en marcha del sistema mediante pruebas y análisis de resultados indica una producción del 95,83% de rollos de fleje producidos para un hilo en el sistema de extrusión EXTRUDER #1 en cuatro semanas, en un carrete de 200mm, fleje de 12 mm, 12kg de peso del rollo. Para un carrete de 180mm y fleje de 12mm, 8kg de peso de rollo se obtuvo 95% de rollos procesados en cuatro semanas.
- ✚ La interfaz HMI, orientada para un panel de operador permite el control y monitoreo del sistema de manera clara y fácil de usar. El diseño del HMI cumplió con las características de operatividad al ser de fácil aprendizaje para cualquier operador sin necesidad de conocimientos avanzados de informática y flexibilidad permitiendo bobinar distintos flejes y carretes de acuerdo a parámetros de diseño.
- ✚ La automatización de la línea de extrusión es rentable, al mejorar la productividad en un 25% cumpliendo con la demanda de producción de la empresa CODIEMPAQUES DEL ECUADOR, y reduciendo de costos asociados al reproceso de fleje.

2. RECOMENDACIONES

El sistema de bobinado automático fue diseñado para trabajar de manera confiable, sin embargo existen varias recomendaciones para su óptimo desempeño, las más relevantes se mencionan a continuación:

- ✚ El sistema fue diseñado e implementado con varios dispositivos de seguridad, sin embargo, el manejo negligente del mismo podría ocasionar daños en el sistema de bobinado. Para prevenir este tipo de situación, todos los operadores deberán leer cuidadosamente los manuales provistos de manera que comprendan el funcionamiento del equipo antes de intentar utilizarlo.
- ✚ Evitar la manipulación o acercamientos a las bandas cuando el motor a pasos y motor de inducción estén en movimiento porque existe el riesgo de atrapamiento y/o lesiones graves.
- ✚ Es importante tener en cuenta que al producirse un corte de energía o apagar el equipo se debe volver a cargar los parámetros de ancho de fleje y carrete en la aplicación de HMI, caso contrario al poner en marcha el sistema directamente el husillo de bolas no entrará en funcionamiento.
- ✚ La eficiencia del proceso de extrusión de plástico puede ser mejorada mediante la implementación de un sistema de extrusión que permita aumentar el número de hilos destinados a la línea de bobinado y optimizando la producción con la reducción de tiempos muertos.
- ✚ El sistema de bobinado es modular por lo que implementar el diseño en los dos bobinadores restantes permitiendo aumentar la producción de la línea de bobinado y generar una reserva en el sistema en caso de un mantenimiento preventivo o correctivo de los sistemas de bobinados actuales en caso de fallas.

- ✚ Profundizar la investigación con respecto al uso de servomotores que permitan mejorar la precisión para trabajar con un amplio rango de flejes.

BIBLIOGRAFÍA

- A.E, F. (2004). *Máquinas Eléctricas*. Mexico: McGraw - Hill.
- Aquilino, R. (2009). *Comunicaciones Industriales*. Marcombo.
- C., D. W. (2009). *Fundamentals of Industrial Instrumentation and Process Control*. McGraw - Hill.
- CODIEMPAQUES, E. (11 de Octubre de 2000). *CODIEMPAQUES*. Obtenido de <http://www.codiempaques.ec/>
- Gabriel, M. D. (3 de Julio de 2013). *Slideshare*. Obtenido de http://es.slideshare.net/habichuelaman/procesos-industriales-i-parte-ii?next_slideshow=1
- M, B., & A, M. (23 de Abril de 2012). *Sildeshare*. Obtenido de <http://es.slideshare.net/JorgeLopez87/extrusora>
- M.P.Kostenko, L. (1979). *Máquinas Eléctricas*. Rusia: MIR.
- Ministerio de la Coordinación de la Produccion, E. y. (14 de Marzo de 2012). *Innova Ecuador*. (GOBIERNO ECUADOR) Obtenido de <http://www.innovaecuador.gob.ec/index.php?module=umIntegrador&func=display&id=111>
- Ministerio de la Producción del Ecuador, P. (19 de Febrero de 2013). *Instituto de Promoción de Exportaciones e Inversión*. Obtenido de http://www.proecuador.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/02/PROEC_GC2013_ECUADOR.pdf
- Moreno, E. G. (2011). *Automatización de Procesos Industriales*. España: Alfa omega.
- OMGMsas. (24 de Junio de 2013). *YOUTUBE*. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=Lc6jhitcu7Y>
- Pablo, A. (2009). *Control Industrial: concepción de un automatismo*. McGraw - Hill.
- Programables, A. (2009). *Porras Criado Alejandro*. McGraw - Hill.

SABACA. (2009). *Automatismos Industriales*. MCGRAW - HILL.

SAIZAR, E. (21 de Noviembre de 2006). *SAIZAR CORP*. Obtenido de <http://www.saizar.com/en/complete-strapping-lines-saizar.php>

Sánchez, V. Á. (2011). *Automatización Industrial Moderna*. España: Alfa omega.

SAS, E. P. (18 de Febrero de 2004). *PACKCOL SAS*. Obtenido de <http://packcol.com/index.php/historia-del-pet>

ACTA DE ENTREGA

El presente proyecto de grado fue entregado al Director de la Carrera de Ingeniería en Electrónica, Automatización y Control y reposa en la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE, desde:

Sangolquí, _____ 2015

Realizado por:

Abril Aguilar Marco Freddy

1500835069

Lema Vinueza Evelyn Gabriela

1719243097

Autoridad:

Ing. Luis Orozco Msc.

DIRECTOR DE LA CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA,
AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL