

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

TÍTULO DEL PROYECTO

**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO
PROTOTIPO PARA EL CONTEO Y SEPARACIÓN DE VARILLAS
PARA LA EMPRESA ANDEC S.A.”**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO
MECATRÓNICO**

REALIZADO POR:

**RODOLFO GABRIEL SÁNCHEZ BUENAÑO
LEONARDO ALEJANDRO VILLAGÓMEZ MEJÍA**

DIRECTOR: ING. ALEJANDRO CHACÓN.

CODIRECTOR: ING. ÁNGELO VILLAVICENCIO.

SANGOLQUÍ, 2013-07-09

CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO

El proyecto “**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO PROTOTIPO PARA EL CONTEO Y SEPARACIÓN DE VARILLAS PARA LA EMPRESA ANDEC S.A.**”, fue realizado en su totalidad por Rodolfo Gabriel Sánchez Buenaño y Leonardo Alejandro Villagómez Mejida , como requerimiento parcial para la obtención del título de Ingeniero Mecatrónico.

Ing. Alejandro Chacón.

DIRECTOR

Ing. Ángelo Villavicencio.

CODIRECTOR

Sangolquí, 2013-07-09

LEGALIZACIÓN DEL PROYECTO

**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO
PROTOTIPO PARA EL CONTEO Y SEPARACIÓN DE VARILLAS PARA LA
EMPRESA ANDEC S.A.”**

ELABORADO POR:

Leonardo Alejandro
Villagómez Mejía

Rodolfo Gabriel
Sánchez Buenaño

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA.

Director de la Carrera de Ingeniería Mecatrónica.

Ing. Luis Echeverría

Sangolquí, 2013-07-09

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

AUTORIZACIÓN

Nosotros: Leonardo Alejandro Villagómez Mejía y Rodolfo Gabriel Sánchez Buenaño

Autorizamos a la Escuela Politécnica del Ejército la publicación, en la biblioteca virtual de la institución del proyecto de grado titulado: “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO PROTOTIPO PARA EL CONTEO Y SEPARACIÓN DE VARILLAS PARA LA EMPRESA ANDEC S.A”, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

Leonardo Alejandro
Villagómez Mejía

Rodolfo Gabriel
Sánchez Buenaño

Sangolquí, 2013-07-09

DEDICATORIA

A mis padres Leonardo y Carmen.

Dedico este proyecto a mis padres, Leonardo y Carmen, y en especial a mi madre, por darme su apoyo incondicional y desinteresado durante toda mi carrera.

Leonardo Alejandro Villagómez Mejía.

DEDICATORIA

A mi familia.

Dedico este proyecto a mi familia que siempre ha estado ahí en todas las fases de mi vida, brindándome su apoyo y consejos invaluable, para convertirme en la persona que soy ahora.

Rodolfo Gabriel Sánchez Buenaño.

AGRADECIMIENTOS

A mi Madre Carmen.

Por ser la mejor mamá que puede haber, por soportar mis malos tratos, y muchas veces malas respuestas que puede haberle dicho. Por estar ahí SIEMPRE e INCONDICIONALMENTE, gracias mami.

A mi padre Leonardo.

Por haberme enseñado algo muy valioso y que siempre lo he aplicado y aplicaré durante todo mi vida, “*Siempre hay tiempo para TODO*”

A mi hermana Paola.

A pesar de haber tenido problemas, discusiones y demás de malos encuentros, le agradezco por siempre estar ahí, aprovecho para decirle que siempre estaré yo para ella, SIEMPRE!.

A mi familia.

A toda mi familia por darme en algún momento su apoyo cuando en algún lo necesite, por sus consejos y críticas que de alguna forma me hicieron lo que soy.

A mis tutores

Por habernos apoyado, y ayudado en de desarrollo y cumplimiento de este proyecto.

Al departamento de mantenimiento Eléctrico de ANDEC.

Por brindarme su ayuda, sugerencias e ideas para el desarrollo de este proyecto.

Leonardo Alejandro Villagómez Mejía.

AGRADECIMIENTOS

A mis padres, por su apoyo incondicional en todas las decisiones de mi vida, sin importar cuales fueran, y por todas sus enseñanzas y valores inculcados que siempre están presentes en cada fase de mi vida.

A mi Abuelita, por ser la persona que siempre estuvo a mi lado desde todo momento, y escucharme cuando siempre lo necesitaba, y recordarme que no debo dudar de mis decisiones.

A mis hermanos, por ser las personas en las que pueda tener un gran ejemplo de vida, por su dedicación y trabajo duro, sabiendo que para cualquier cosa puedo contar con ellos.

A mi compañero y amigo Leonardo, por ser un gran amigo y profesional en esta etapa tan importante de mi carrera.

A mi familia, a toda mi familia por apoyarme y estar pendientes de mí, en mis momentos difíciles.

A mis amigos, por todos los buenos y malos momentos durante la universidad, en especial a mi Ñaña, por ser como es y confiar en mí.

A mis tutores, por aportar con su sabiduría, y ayuda para el desarrollo de nuestro proyecto.

A la empresa ANDEC, por confiar y permitirnos desarrollar nuestro proyecto, brindándonos su apoyo.

Rodolfo Gabriel Sánchez Buenaño.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

| | |
|---|----------|
| CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO..... | ii |
| LEGALIZACIÓN DEL PROYECTO | iii |
| AUTORIZACIÓN | iv |
| ÍNDICE DE FIGURAS | xix |
| ÍNDICE DE TABLAS | xxv |
| ÍNDICE DE ANEXOS | xxix |
| RESUMEN..... | xxx |
| CAPITULO 1 INTRODUCCIÓN | 2 |
| 1.1 ANTECEDENTES..... | 2 |
| 1.1.1 RESUMÉN DE LA LÍNEA DE PROCESO PARA LA FORMACIÓN DE VARRILLAS..... | 2 |
| 1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO A AUTOMATIZAR..... | 4 |
| 1.2.1 PROCESO..... | 4 |
| 1.2.2 IDENTIFICACIÓN DE LAS VARIABLES DE PROCESO..... | 5 |
| 1.3 JUSTIFICACIÓN..... | 7 |
| 1.4 OBJETIVOS | 8 |
| 1.4.1 GENERAL..... | 8 |
| 1.4.2 ESPECÍFICOS..... | 8 |
| 1.5 ALCANCE DEL PROYECTO..... | 9 |
| 1.6 METODOLOGÍA DEL PROYECTO..... | 9 |

| | |
|---|----|
| CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL | 11 |
| 2.1 SISTEMA PARA CONTEO Y SEPARACIÓN DE VARILLAS. | 11 |
| 2.1.1 MECANISMO TORNILLO SIN FIN. | 12 |
| 2.1.2 SISTEMA DE CONTEO DE TIPO BCA SUND- BIRSTA..... | 14 |
| 2.1.3 DISPOSITIVO DE SEPARACIÓN PARA BARRAS LAMINADAS (DANIELI)..... | 15 |
| 2.1.4 CONTADOR ELECTRÓNICO DE PULSOS. | 24 |
| 2.1.5 SISTEMA DE VISIÓN ARTIFICIAL. | 26 |
| 2.2 ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS..... | 28 |
| CAPÍTULO 3. DISEÑO DEL SISTEMA | 30 |
| 3.1 DISEÑO MECÁNICO DEL SISTEMA SEPARADOR..... | 30 |
| 3.1.1 SELECCIÓN DE SISTEMAS DE SEPARACIÓN. | 32 |
| 3.1.1.1 SISTEMAS POR UÑAS CURVAS | 33 |
| 3.1.1.2 SISTEMAS POR POSICIONAMIENTO LINEAL..... | 34 |
| 3.1.1.2.1 TORNILLO DE POTENCIA (HUSILLO DE BOLAS)..... | 35 |
| 3.1.1.2.2 SISTEMA LINEAL POR CORREA..... | 39 |
| 3.1.1.2.3 SISTEMA PIÑÓN – CREMALLERA | 41 |
| 3.1.1.3 ACTUADOR DE GIRO (MOTOR)..... | 43 |
| 3.1.1.3.1 MOTORES A PASOS..... | 44 |
| 3.1.1.3.2 SERVOMOTORES. | 46 |
| 3.1.1.4 ACTUADOR LINEAL..... | 48 |
| 3.1.1.4.1 ACTUADOR NEUMÁTICO (PISTÓN O CILINDRO)..... | 49 |

| | | |
|------------|--|----|
| 3.1.1.4.2 | ACTUADOR HIDRÁULICO (CILINDROS) | 51 |
| 3.1.1.4.3 | ACTUADOR LINEAL ELÉCTRICO..... | 52 |
| 3.1.2 | ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS..... | 53 |
| 3.1.3 | MÉTODO DE DISEÑO | 55 |
| 3.1.4 | FACTOR DE SEGURIDAD | 56 |
| 3.1.5 | DISEÑO DEL TORNILLO POR CARGA AXIAL..... | 57 |
| 3.1.6 | DISEÑO DEL TORNILLO POR FLEXIÓN..... | 60 |
| 3.1.6. | 1 DIAGRAMAS DE MDSOLIDS | 62 |
| 3.1.7 | DISEÑO DEL TORNILLO POR FATIGA | 64 |
| 3.1.8 | RESUMEN DE VALORES OBTENIDOS..... | 66 |
| 3.1.9 | SELECCIÓN DEL TORNILLO DE POTENCIA..... | 67 |
| 3.1.10 | DISEÑO DEL TORNILLO DE POTENCIA DE BOLAS. | 70 |
| 3.1.11 | HUSILLO. | 71 |
| 3.1.12 | PAR DE TORSIÓN..... | 71 |
| 3.1.13 | VELOCIDAD CRÍTICA..... | 78 |
| 3.1.14 | EFICIENCIA DEL TORNILLO DE POTENCIA. | 81 |
| 3.1.15 | TUERCA | 83 |
| 3.1.15.1 | DISEÑO DE LA TUERCA..... | 83 |
| 3.1.15.1.1 | DISEÑO A CORTE..... | 83 |
| 3.1.15.1.2 | DISEÑO A COMPRESIÓN..... | 87 |
| 3.1.15.1.3 | INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS..... | 89 |
| 3.1.15.1.4 | DISEÑO POR CARGA DINÁMICA..... | 89 |

| | | |
|-------------|---|-----|
| 3.1.15.1.5 | VELOCIDAD MEDIA..... | 90 |
| 3.1.15.1.6 | CARGA MEDIA..... | 91 |
| 3.1.15.1.7 | CARGA DINÁMICA..... | 93 |
| 3.1.15.1.8 | INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS..... | 94 |
| 3.1.15.1.9 | DISEÑO POR DURACIÓN DE VIDA EN HORAS..... | 94 |
| 3.1.15.1.10 | INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS..... | 96 |
| 3.1.16 | CILINDRO NEUMÁTICO..... | 96 |
| 3.1.16.1 | DISEÑO POR ESFUERZO A FLEXIÓN..... | 97 |
| 3.1.16.1.1 | INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS..... | 98 |
| 3.1.16.2 | DISEÑO DEL DIÁMETRO DEL ÉMBOLO..... | 99 |
| 3.1.16.3 | SELECCIÓN DEL CILINDRO NEUMÁTICO..... | 99 |
| 3.1.16.4 | UNIDAD NEUMÁTICA..... | 100 |
| 3.1.16.4.1 | VÁLVULA ELECTRO NEUMÁTICA Y CIRCUITO NEUMÁTICO..... | 100 |
| 3.1.16.4.2 | UNIDAD DE MANTENIMIENTO..... | 102 |
| 3.2 | DISEÑO ELECTRÓNICO/ELÉCTRICO DEL SISTEMA SEPARADOR..... | 103 |
| 3.2.1 | SERVO-SISTEMA..... | 104 |
| 3.2.1.1 | PARÁMETROS TÉCNICOS DE SELECCIÓN PARA EL SERVOMOTOR..... | 104 |
| 3.2.1.1.1 | TORQUE..... | 104 |
| 3.2.1.1.2 | POTENCIA..... | 108 |

| | | |
|-----------|--|-----|
| 3.2.2 | SELECCIÓN DEL SERVO-SISTEMA..... | 109 |
| 3.2.3.1 | SERVO-MOTOR GSK 80SJT-M024C..... | 111 |
| 3.2.2.2 | SERVO-DRIVE GSK DB098A. | 111 |
| 3.2.3 | CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE – PLC..... | 113 |
| 3.2.3.1 | SELECCIÓN DEL PLC. | 113 |
| 3.2.4 | SENSORES. | 115 |
| 3.2.4.1 | FINALES DE CARRERA..... | 115 |
| 3.3 | DISEÑO DEL SISTEMA DE VISIÓN ARTIFICIAL..... | 116 |
| 3.3.1 | DISEÑO DEL HARDWARE DEL SISTEMA DE VISIÓN ARTIFICIAL | 118 |
| 3.3.1.1 | PLANTEAMIENTO DE REQUISITOS DE IMAGEN..... | 120 |
| 3.3.1.2 | ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE DISPOSITIVOS DE ADQUISICIÓN DE IMÁGENES. | 120 |
| 3.3.1.2.1 | CÁLCULO DE RESOLUCIÓN DE CÁMARA..... | 121 |
| 3.3.1.2.2 | SELECCIÓN DE LA CÁMARA. | 122 |
| 3.3.1.3 | SELECCIÓN DE LENTES | 126 |
| 3.3.1.4 | DISPOSICIÓN DE LA CÁMARA | 128 |
| 3.3.1.5 | SELECCIÓN TIPO Y TÉCNICA DE ILUMINACIÓN..... | 130 |
| 3.3.1.5.1 | PROPIEDADES DE LAS VARILLAS DE ACERO..... | 132 |
| 3.3.1.5.2 | PLANTEAMIENTO DE REQUISITOS DEL TIPO DE ILUMINACIÓN. | 133 |
| 3.3.1.5.3 | SELECCIÓN DEL TIPO DE ILUMINACIÓN. | 134 |

| | | |
|---------------|---|-----|
| 3.3.1.5.4 | TÉCNICAS DE ILUMINACIÓN. | 135 |
| 3.3.1.5.5 | PLANTEAMIENTO DE REQUISITOS DEL TIPO DE ILUMINACIÓN. | 136 |
| 3.3.1.5.6 | SELECCIÓN DE TÉCNICA DE ILUMINACIÓN | 136 |
| 3.3.1.5.7 | SELECCIÓN DE LONGITUD DE ONDA DE ILUMINACIÓN | 137 |
| 3.3.1.5.8 | SELECCIÓN DE LA ILUMINACIÓN Y FILTRO..... | 140 |
| 3.3.1.5.9 | DISPOSICIÓN DE LA ILUMINACIÓN..... | 141 |
| 3.3.1.5.9.1 | CÁLCULO DE DISTANCIAS Y ÁNGULOS DE CADA ILUMINACIÓN. | 142 |
| 3.3.1.5.9.1.1 | DISTANCIAS Y ÁNGULOS PLANO YZ..... | 142 |
| 3.3.1.5.9.1.2 | DISTANCIAS Y ÁNGULOS PLANO XZ..... | 145 |
| 3.3.2 | DISEÑO DEL SOFTWARE DEL SISTEMA DE VISIÓN ARTIFICIAL | 147 |
| 3.3.2.1 | ALGORITMO DE SOFTWARE DE CONTROL LABVIEW..... | 148 |
| 3.3.2.2 | MODOS DE FUNCIONAMIENTO. | 150 |
| 3.3.2.2.1 | MODO SEPARADOR APAGADO..... | 150 |
| 3.3.2.2.2 | MODO AUTOMÁTICO. | 151 |
| 3.3.2.2.3 | FUNCIONAMIENTO MODO MANUAL. | 151 |
| 3.3.2.2.4 | ALGORITMO PROCESAMIENTO DE IMAGEN..... | 155 |
| 3.3.2.2.5 | ALGORITMO DE RUTINA DE FALLA..... | 156 |
| 3.3.2.3 | COMUNICACIÓN SISTEMA DE CONTROL VISIÓN Y CONTROL PLC | 156 |

| | | |
|-------------------------------------|---|------------|
| 3.3.2.3.1 | CONFIGURACIÓN CÁMARA..... | 156 |
| 3.3.2.3.2 | CONEXIÓN ENTRE ELEMENTOS..... | 157 |
| 3.3.2.3.3 | HMI CONTEO Y SEPARACIÓN DE VARILLAS | 159 |
| 3.4 | DISEÑO DEL SOFTWARE DE CONTROL DEL SISTEMA SEPARADOR..... | 160 |
| 3.4.1 | ASIGNACIÓN DE MEMORIAS, REGISTROS, SALIDAS, Y ENTRADAS..... | 160 |
| 3.4.2 | DISEÑO DEL BLOQUE AUTOMÁTICO DEL SISTEMA DE CONTROL DEL SEPARADOR..... | 162 |
| 3.4.3 | DISEÑO DEL BLOQUE MANUAL DEL SISTEMA DE CONTROL DEL SEPARADOR..... | 163 |
| 3.4.4 | DISEÑO DEL BLOQUE DE FALLA DEL SISTEMA DE CONTROL DEL SEPARADOR..... | 163 |
| CAPÍTULO 4. SIMULACIÓN | | 165 |
| 4.1 | DEFINICIÓN DEL SISTEMA BAJO ESTUDIO..... | 166 |
| 4.1.1 | SISTEMA CONTADOR:..... | 166 |
| 4.1.2 | SISTEMA SEPARADOR: | 166 |
| 4.2 | GENERACIÓN DEL MODELO DE SIMULACIÓN BASE..... | 166 |
| 4.3 | RECOLECCIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS..... | 167 |
| 4.3.1 | SISTEMA SEPARADOR: | 167 |
| 4.3.2 | SISTEMA CONTADOR:..... | 167 |
| 4.4 | GENERACIÓN DEL MODELO PRELIMINAR..... | 167 |

| | | |
|---|---|------------|
| 4.3.1 | SIMULACIÓN DEL PROCESO. | 168 |
| 4.5 | VERIFICACIÓN DEL MODELO. | 181 |
| CAPÍTULO 5. IMPLEMENTACION | | 182 |
| 5.1 | IMPLEMENTACIÓN MECÁNICA | 182 |
| 5.1.1 | SOPORTE DE LA CÁMARA Y LA PRIMERA ILUMINACIÓN. | 182 |
| 5.1.2 | SOPORTE DE LA ILUMINACIÓN..... | 183 |
| 5.1.3 | SISTEMA SEPARADOR. | 183 |
| 5.2 | IMPLEMENTACIÓN ELÉCTRICO - ELECTRÓNICO SISTEMA SEPARADOR | 185 |
| 5.2.1 | ALCANCE..... | 185 |
| 5.2.2 | JUSTIFICACIÓN..... | 187 |
| 5.3 | IMPLEMENTACIÓN SISTEMA DE VISIÓN ARTIFICIAL. | 188 |
| 5.4 | IMPLEMENTACIÓN CONTROL DEL SEPARADOR..... | 190 |
| 5.5 | INTEGRACIÓN DEL SISTEMA DE VISIÓN ARTIFICIAL Y SEPARADOR..... | 190 |
| 5.6 | PRUEBAS EN FRIO DEL SISTEMA..... | 191 |
| 5.6.1 | PRUEBAS SIN CARGA..... | 191 |
| 5.6.1.1 | FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA NEUMÁTICO. | 191 |
| 5.6.1.2 | COMPROBACIÓN DE MOVIMIENTO Y DESLIZAMIENTO DE PARTES MÓVILES. | 191 |
| 5.6.1.3 | RECORRIDO DE LA MESA DE DESLIZAMIENTO | 192 |
| 5.6.1.4 | VELOCIDAD DEL SISTEMA. | 192 |

| | | |
|---|---|------------|
| 5.6.1.5 | PRECISIÓN DE POSICIONAMIENTO. | 192 |
| 5.6.1.6 | PRUEBAS DE EFICIENCIA DE ILUMINACIÓN Y FILTRO..... | 193 |
| 5.6.1.7 | PRUEBAS DE CONTEO Y OPTIMIZACIÓN DE PARÁMETROS DE ALGORITMO DE PROCESAMIENTO. | 195 |
| 5.6.2 | PRUEBAS CON CARGA..... | 204 |
| 5.6.2.1 | VELOCIDAD DE POSICIONAMIENTO..... | 204 |
| 5.6.2.2 | PRECISIÓN DE POSICIONAMIENTO. | 204 |
| 5.6.2.3 | RESISTENCIA A LA CARGA..... | 204 |
| CAPÍTULO 6. ANÁLISIS ECONÓMICO Y FINANCIERO..... | | 207 |
| 6.1 | ESTUDIO FINANCIERO | 207 |
| 6.2 | PRESUPUESTO UTILIZADO | 208 |
| 6.3 | ANÁLISIS DE COSTOS, GASTOS UTILIZADOS | 209 |
| 6.3.1 | DETERMINACION DEL PRECIO DE VENTA | 210 |
| 6.3.1.1. | CÁLCULO TEÓRICO DEL TIEMPO DE PROCESO OBTENIDO POR EL SISTEMA PROTOTIPO SEPARADOR Y CONTADOR DE VARILLAS..... | 211 |
| 6.3.1.2 | CÁLCULO DE PRODUCCIÓN DE ACERO TEÓRICO..... | 211 |
| 6.3.2 | ESTADO DE FLUJO | 213 |
| 6.3.3 | FLUJO DE CAJA | 214 |
| 6.3.4 | ESTADO DE FLUJO | 214 |
| 6.4 | VALOR ACTUAL NETO (VAN) | 215 |
| 6.5 | TASA INTERNA DE RETORNO (TIR) | 217 |

| | | |
|---|--------------------------------|------------|
| 6.6 | RELACIÓN BENEFICIO COSTO | 218 |
| CAPÍTULO 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES. | | 219 |
| 7.1 | CONCLUSIONES | 219 |
| 7.2 | RECOMENDACIONES..... | 222 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | | |
|--------------|---|----|
| Figura 1.1 | Proceso de Laminación de la Varilla de acero | 2 |
| Figura 1.2 | Esquema del proceso de formación de paquetes de varillas | 4 |
| Figura 1.3 | Diagrama de flujo del proceso actual. | 5 |
| Figura 2.1 | Cuadro sistemas para el conteo y separación de varillas | 11 |
| Figura 2.2. | Sistema contador de varillas mediante Tornillo sin fin. | 13 |
| Figura 2.3. | Esquema sistema de conteo de tipo BCA SUND- BIRSTA..... | 15 |
| Figura 2.4. | Vista Isométrica Contador Danieli | 22 |
| Figura 2.5. | Vista Lateral Posición A Contador Danieli | 22 |
| Figura 2.6. | Vista Lateral Posición B Contador Danieli | 23 |
| Figura 2.7. | Vista Lateral Posición C Contador Danieli..... | 23 |
| Figura 2.8. | Vista Superior sección Ganchos Contador Danieli..... | 23 |
| Figura 2.9. | Vista Superior sección Rodillos Contador Danieli..... | 24 |
| Figura 2.10. | Esquema contador electrónico | 24 |
| Figura 2.11 | Esquema sistema de visión artificial..... | 26 |
| Figura 2.12 | Diagrama de flujo del sistema típico de visión artificial. | 28 |
| Figura 3.1 | Cama de Cadenas (Vista Isométrica Frontal) | 31 |
| Figura 3.2 | Cama de Cadenas (Vista Isométrica Trasera)..... | 31 |
| Figura 3.3. | Esquema de separador mecánico de uñas curvas..... | 33 |
| Figura 3.4 | Esquema Sistema Separador por posicionamiento lineal. | 35 |
| Figura 3.5 | Tornillo de Bola..... | 35 |
| Figura 3.6 | Interior Tonillo de Bola. | 36 |
| Figura 3.7 | Sistema Lineal por Correa. | 39 |
| Figura 3.8 | Sistema Piñón Cremallera..... | 41 |
| Figura 3.9 | Funcionamiento Mecanismo Piñón Cremallera..... | 42 |

| | |
|--|-----|
| Figura.3.10. Motor Paso a Paso..... | 44 |
| Figura 3.11. Diagrama de funcionamiento de un Motor Paso a Paso..... | 45 |
| Figura 3.12. Servo-motor bifásico..... | 47 |
| Figura 3.13. Cilindro Neumático..... | 49 |
| Figura 3.14. Cilindro Hidráulico..... | 51 |
| Figura 3.15. Actuador Lineal Eléctrico..... | 52 |
| Figura 3.16. Diagrama de Cuerpo Libre en Sistema Separador..... | 58 |
| Figura 3.17 Diagrama de Cargas. | 62 |
| Figura 3.18 Diagrama de Corte. | 63 |
| Figura 3.19 Diagrama de Momento Flector. | 63 |
| Figura 3.20 Esquema de las dimensiones de tornillos de potencia de la empresa UGRA CNC..... | 68 |
| Figura 3.21. Tornillo de potencia, tuerca y soportes de la empresa UGRA CNC. | 69 |
| Figura 3.22. Diagrama de cuerpo libre tuerca-tornillo de una rosca ACME. | 72 |
| Figura 3.23. Diagrama de cuerpo libre para rosca ACME en el plano x-y..... | 73 |
| Figura 3.24. Diagrama de cuerpo libre para rosca ACME en el plano y-z..... | 74 |
| Figura 3.25. Representación del factor de empotramiento en los extremos K_s | 79 |
| Figura 3.26. Tuerca del tornillo de bolas 2005-4 de la empresa UGRA CNC..... | 83 |
| Figura 3.27. Esquema representativo del término velocidad media. | 90 |
| Figura 3.28. Esquema representativo del término carga media. | 92 |
| Figura 3.29. Parámetros para diseño | 97 |
| Figura 3.30 Válvula Solenoide FESTO CPE14-M1BH-5J-1/8. | 101 |
| Figura 3.31. Diagrama neumático del cilindro..... | 102 |
| Figura 3.32. Unidad de mantenimiento de media, marca PARKER..... | 103 |
| Figura 3.33 Servo-Motor 80SJT-M024C y servo-drive D098B. | 110 |

| | |
|--|-----|
| Figura 3.34. PLC - XINJE XC324RT. | 114 |
| Figura 3.35. Sensor Inductivo PEPPERL+FULCH, NBB8-19GM50. | 116 |
| Figura 3.36 Etapas de visión artificial | 117 |
| Figura 3.37 Diagrama de flujo Diseño del sistema de visión artificial | 118 |
| Figura 3.38 Esquema de composición física Adquisición | 119 |
| Figura 3.39 Diagrama de flujo proceso de diseño hardware de adquisición..... | 119 |
| Figura 3.40 Disposición física de la cámara y varillas..... | 126 |
| Figura 3.41 Distribución de cámara Vs varillas..... | 129 |
| Figura 3.42 Diagrama de flujo proceso de diseño de Iluminación..... | 131 |
| Figura 3.43 Variabilidad de corte y color perfil de varillas Corrugadas..... | 133 |
| Figura 3.44 Espectro electromagnético..... | 138 |
| Figura 3.45 Disposición de Iluminación planteada..... | 142 |
| Figura 3.46 Datos Plano YZ..... | 143 |
| Figura 3.47 Distancia Z asistida por computadora..... | 144 |
| Figura 3.48 Datos Plano XZ..... | 146 |
| Figura 3.49 Distribución plano XZ | 147 |
| Figura 3.50 Diagrama de flujo proceso de diseño de Software de Vision Artificial | 148 |
| Figura 3.51 Algoritmo Software de control Labview | 149 |
| Figura 3.52 Modos de funcionamiento | 150 |
| Figura 3.53 Modo Funcionamiento Separador Apagado | 152 |
| Figura 3.54 Funcionamiento modo automático..... | 153 |
| Figura 3.55 Funcionamiento modo manual. | 154 |
| Figura 3.56. Algoritmo de Procesamiento de Imagen..... | 155 |
| Figura 3.57 Algoritmo Rutina de Falla | 156 |
| Figura 3.58 Esquema de Conexión de Elementos..... | 158 |

| | |
|---|-----|
| Figura 3.59 HMI Desarrollado | 159 |
| Figura 3.60 Proceso de diseño | 160 |
| Figura 3.61 Algoritmo bloque Automático Sistema de control Separador..... | 162 |
| Figura 3.62 Algoritmo bloque manual sistema de control separador | 163 |
| Figura 3.63 Algoritmo bloque de falla..... | 164 |
| Figura 4.1. Metodología de diseño..... | 165 |
| Figura 4.2 Conexión de la cámara | 168 |
| Figura 4.3 Pantalla de obtención de imágenes desde la cámara | 169 |
| Figura 4.4 Ingreso de datos de producción a realizarse | 169 |
| Figura 4.5 Pantalla de controles del Contador y separador de varillas | 169 |
| Figura 4.6 Controles del sistema separador | 170 |
| Figura 4.7 Simulación de entradas de imágenes | 170 |
| Figura 4.8 Simulación de conteo de imágenes | 170 |
| Figura 4.9 Simulación de conteo de imágenes, paquete próximo a acabar. | 171 |
| Figura 4.10 Acumulación de manto de varillas | 172 |
| Figura 4.11 Formación de paquete de varillas | 172 |
| Figura 4.12 Separador modo automático | 172 |
| Figura 4.13 Simulación de siguiente manto de varillas | 173 |
| Figura 4.14 Conteo de varillas | 173 |
| Figura 4.15 Paquete próximo a acabar modo automatico | 173 |
| Figura 4.16 Varillas necesarias para formar el paquete | 174 |
| Figura 4.17 Sistema separador encendido | 174 |
| Figura 4.18 Inicio de proceso de separador | 175 |
| Figura 4.19 Ubicación de separador | 175 |
| Figura 4.20 Separación de varillas | 176 |

| | |
|---|-----|
| Figura 4.21 Sistema separador posicionado | 176 |
| Figura 4.22 Movimiento de manto para separar varillas | 177 |
| Figura 4.23 Varillas separadas | 177 |
| Figura 4.24 Varillas separadas por la cama de cadenas | 178 |
| Figura 4.25 Nueva formación de paquete | 178 |
| Figura 4.26 Separador Modo Manual. | 179 |
| Figura 4.27 Avance del separador | 179 |
| Figura 4.28 Regreso del separador | 179 |
| Figura 4.29 Separador arriba | 180 |
| Figura 4.30 Separador abajo..... | 180 |
| Figura 4.31 Alarma de falla del sistema separador | 180 |
| Figura 4.32 Reconocimiento de falla | 181 |
| Figura 5.1 Soporte Cámara | 182 |
| Figura 5.2 Soporte Iluminación..... | 183 |
| Figura 5.3 Bancada Sistema Separador | 184 |
| Figura 5.4 Fotografía Armario (AR1) implementado. | 186 |
| Figura 5.5 Vista de Planta, Localización ideal de armarios AR1, AR2 y PC | 186 |
| Figura 5.6 Vista de Planta, Localización temporal de armarios AR1, AR2 y PC | 187 |
| Figura 5.7 Fotografía Armario de alimentación. | 189 |
| Figura 5.8 Fotografía Iluminación, cámara y lente implementados | 190 |
| Figura 5.9 Fotografía sistema contador y separador de varillas | 191 |
| Figura 5.10 Histograma de Imagen Adquirida en la mañana. (8am) | 194 |
| Figura 5.11 Histograma de Imagen Adquirida en la tarde (1pm)..... | 194 |
| Figura 5.12 Histograma de Imagen Adquirida en la noche (8pm)..... | 194 |
| Figura 5.13 Histograma de Imagen Adquirida en la madrugada (3am)..... | 194 |

Figura 5.14 Ecuación de %error y precisión Teórico del sistema Contador de

varillas203

ÍNDICE DE TABLAS

| | | |
|------------|--|-----|
| Tabla 1.1 | Variables de Proceso | 6 |
| Tabla 1.2 | Recursos Actuales para el conteo | 6 |
| Tabla 1.3 | Estado del proceso de Conteo y Separación | 7 |
| Tabla 2.1 | Tabla de análisis y selección de alternativas | 29 |
| Tabla 3.1 | Tabla de análisis y selección de alternativas | 54 |
| Tabla 3.2 | Tabla de análisis y selección de alternativas | 54 |
| Tabla 3.3 | Tabla de análisis y selección de alternativas | 55 |
| Tabla 3.4 | Tabla de componentes para Sistema Separador..... | 55 |
| Tabla 3.5 | Dimensiones de Roscas-ACME American Standard..... | 60 |
| Tabla 3.6 | Dimensiones de tornillos de potencia de la empresa UGRA CNC..... | 67 |
| Tabla 3.7 | Datos típicos de tornillos de potencia..... | 70 |
| Tabla 3.8 | Materiales de fabricación del tornillo de bolas 2005-4..... | 70 |
| Tabla 3.9 | Propiedades mecánicas de aceros al carburizados..... | 86 |
| Tabla 3.10 | Especificaciones de funcionamiento del sistema..... | 90 |
| Tabla 3.11 | Características principales del servo-sistema XINJE- DS21P5..... | 110 |
| Tabla 3.12 | Parámetros técnicos del servo-motor XINJE- MSJ130STM06025..... | 111 |
| Tabla 3.13 | Parámetros técnicos del servo-drive GSK D098B..... | 113 |
| Tabla 3.14 | Características técnicas del PLC XINJE XC324RT..... | 115 |
| Tabla 3.15 | Requisitos de la imagen para la aplicación | 120 |
| Tabla 3.16 | Cuadro comparativo tipos de cámara industriales | 121 |
| Tabla 3.17 | Parámetros de diseño Resolución de cámara..... | 122 |
| Tabla 3.18 | Análisis y selección de tipo de cámara..... | 124 |
| Tabla 3.19 | Especificaciones técnicas Smart Camara NI 1722 | 125 |
| Tabla 3.20 | Cámara para el proyecto | 125 |

| | | |
|------------|--|-----|
| Tabla 3.21 | Longitud Focal del lente para el proyecto | 127 |
| Tabla 3.22 | Datos técnicos Lente Computar M0814-MP2 | 128 |
| Tabla 3.23 | FOV horizontal y Vertical | 130 |
| Tabla 3.24 | Distancia entre Cámara y varillas para el proyecto | 130 |
| Tabla 3.25 | Propiedades ópticas y físicas varillas de acero | 132 |
| Tabla 3.26 | Requisitos mínimos de la iluminación..... | 133 |
| Tabla 3.27 | Análisis y selección de Iluminación. | 135 |
| Tabla 3.28 | Cuadro comparativo tipos de Técnicas de Iluminación | 135 |
| Tabla 3.29 | Requisitos que debe cumplir la iluminación..... | 136 |
| Tabla 3.30 | Análisis y selección de técnica de iluminación. | 137 |
| Tabla 3.31 | Condiciones de trabajo Iluminación. | 138 |
| Tabla 3.32 | Datos técnicos de VCN2 IR 850..... | 140 |
| Tabla 3.33 | Datos técnicos RayMax 50-AI-30 | 140 |
| Tabla 3.34 | Datos técnicos del filtro BP850-30.5..... | 141 |
| Tabla 3.35 | Distancias y ángulo de inclinación plano YZ | 145 |
| Tabla 3.36 | Distancias y ángulo de rotación plano XZ | 147 |
| Tabla 3.37 | Configuración cámara..... | 157 |
| Tabla 3.38 | Direcciones IP..... | 158 |
| Tabla 3.39 | Asignación de memorias, registros, salidas, y entradas para el control del sistema separador..... | 161 |
| Tabla 5.1 | Características técnicas Armario de Control Separador Mecánico (AR1) | 186 |
| Tabla 5.2 | Características técnicas Armario de Alimentación Iluminaciones y Cámara (AR2)..... | 189 |
| Tabla 5.3 | Prueba Neumática | 192 |

| | | |
|------------|--|-----|
| Tabla 5.4 | Recorrido y velocidad de la Bancada | 192 |
| Tabla 5.5 | Prueba Separación de varillas | 193 |
| Tabla 5.6 | Valores de nivel de confianza estadísticos | 196 |
| Tabla 5.7 | Numero de muestras | 196 |
| Tabla 5.8 | Algoritmo de procesamiento de imagen | 197 |
| Tabla 5.9 | Valores de parámetros del algoritmo de procesamiento de imagen Diámetro 14 mm | 198 |
| Tabla 5.10 | Valores de parámetros del algoritmo de procesamiento de imagen Diámetro 8 mm | 199 |
| Tabla 5.11 | Valores de parámetros del algoritmo de procesamiento de imagen Diámetro 25 mm | 200 |
| Tabla 5.12 | Exactitud y precisión de las pruebas para diámetro 14 mm | 201 |
| Tabla 5.13 | Exactitud y precisión de las pruebas para diámetro 8 mm | 201 |
| Tabla 5.14 | Exactitud y precisión de las pruebas para diámetro 25 mm | 202 |
| Tabla 5.15 | Niveles de Exactitud y Precisión | 202 |
| Tabla 5.16 | Error y Precisión promedio Final | 203 |
| Tabla 5.17 | Prueba funcionamiento separador..... | 205 |
| Tabla 6.1 | Presupuesto utilizado | 209 |
| Tabla 6.2 | Datos obtenidos de producción | 210 |
| Tabla 6.3 | Tiempo Teórico de Conteo y Separación | 211 |
| Tabla 6.4 | Producción teórica sistema. | 212 |
| Tabla 6.5 | Producción Real Sistema. | 212 |
| Tabla 6.6 | Precio de Venta Proyecto..... | 212 |
| Tabla 6.7 | Depreciación maquinaria y detalle mano de obra..... | 213 |
| Tabla 6.8 | Estado de resultados proyectados. | 214 |

| | | |
|------------|--|-----|
| Tabla 6.9 | Flujo de Caja | 215 |
| Tabla 6.10 | VAN y TIR | 216 |
| Tabla 6.11 | Determinación Eficiencia del TIR | 217 |

ÍNDICE DE ANEXOS

- A** Planos eléctricos.
- B** Planos Mecánicos.
- C** Programa en Excel Análisis de error.
- D** Carta de Aceptación del proyecto por parte de la empresa.
- E** Documentos de compra de materiales al departamento de logística.
- F** Fechas cronológicas de requerimiento y arribo de equipos.
- G** Manual del PLC.
- H** Manual Servo drive.
- I** Hoja Técnica de Servo motor.
- J** Hoja de datos Electroválvula.
- K** Hoja de datos cilindro.
- L** Manual Smart Camara.
- M** Archivo de fotografías tomadas para el análisis. Diámetro 14, 8 y 25 mm.

RESUMEN

El presente proyecto fue desarrollado para la empresa ANDEC S.A. en base a su necesidad de mejorar las condiciones de trabajo de los operarios y el proceso de conteo manual de varillas de hierro corrugadas actual en la empresa. Siendo el objetivo principal del proyecto, desarrollar un sistema de conteo y separación automático de varillas, con un error menor o igual al 5% en el conteo de varillas. Se hará un diseño mecánico y eléctrico del sistema separador de varillas, seguido del diseño del sistema de visión artificial y el software de control del sistema separador, mediante el desarrollo e implementación de algoritmos de control y procesamiento de imagen en el programa Labview 2009 de National Instruments, visualizados en un HMI (Human Machine Interface), cuyo objetivo es determinar el número de varillas presentes en el manto actual, acumulando el valor de conteo hasta llegar al número de varillas requerido para formar un paquete. Si hubiera un exceso de varillas en el manto, se activará el sistema separador, ubicándose en la última varilla conformadora de paquete, dando una señal al operario para que active la cama de cadenas, separe y forme el paquete requerido, luego de este proceso el sistema separador regresará a su posición inicial, y las varillas sobrantes del manto se añadirían a un nuevo paquete, iniciándose un nuevo proceso de conteo y conformación de paquetes de varillas corrugadas. Mediante el desarrollo de pruebas de conteo y optimización de parámetros de algoritmo de procesamiento de imagen del sistema contador y separador de varillas, se obtuvo un error promedio de conteo de 3,67%, debido a la resolución de la cámara usada (640x480 pixeles) en el desarrollo del proyecto, recomendando usar una cámara con resolución superior o igual a 3600x720 pixeles.

CAPÍTULO I

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO PROTOTIPO PARA EL CONTEO Y SEPARACIÓN DE VARILLAS PARA LA EMPRESA ANDEC S.A.

En este capítulo se presenta los antecedentes que motivaron la realización del presente proyecto de graduación, presentando un resumen de la línea de proceso para la formación de varillas, luego la descripción de la situación problemática que generó la necesidad de diseñar un sistema automático contador y separador de varillas para la empresa ANDEC S.A., terminando con los objetivos, alcance y metodología del presente proyecto.

1.1 ANTECEDENTES.

Durante las prácticas profesionales realizadas en Acerías Nacionales del Ecuador ANDEC S.A. se analizó una reunión con el Crnl. Nelson Perugachi, Gerente General de la empresa ANDEC S.A. donde presentó los problemas actuales de la empresa, siendo el proceso actual de conteo de varillas uno de los principales problemas por tiempo y pérdidas de producto que se origina por realizar el procedimiento manualmente, siendo en un 80%, del total de paquetes de varillas producidos anualmente, se encuentran con una variación de 1 a 8 varillas en promedio para completar el paquete.

Un conteo manual perjudica los tiempos de proceso, existe un contacto directo del operario conllevando un factor de riesgo al momento de manipular la varilla, y no siempre el conteo realizado por el operario es fiable, debido principalmente, al agotamiento físico y estrés al realizar una tarea repetitiva.

Los motivos expuestos anteriormente son la principal razón por lo que ANDEC ha decidido desarrollar un sistema automático para contar varillas.

1.1.1 RESUMÉN DE LA LÍNEA DE PROCESO PARA LA FORMACIÓN DE VARRILLAS.

El laminado es el proceso de reducir el espesor (o modificar la sección transversal) de una pieza larga (palanquilla) mediante fuerzas de compresión aplicadas a través de un juego de rodillos que giran a la misma velocidad pero en sentido contrario. La figura 1.1 describe el proceso de laminación de la varilla.

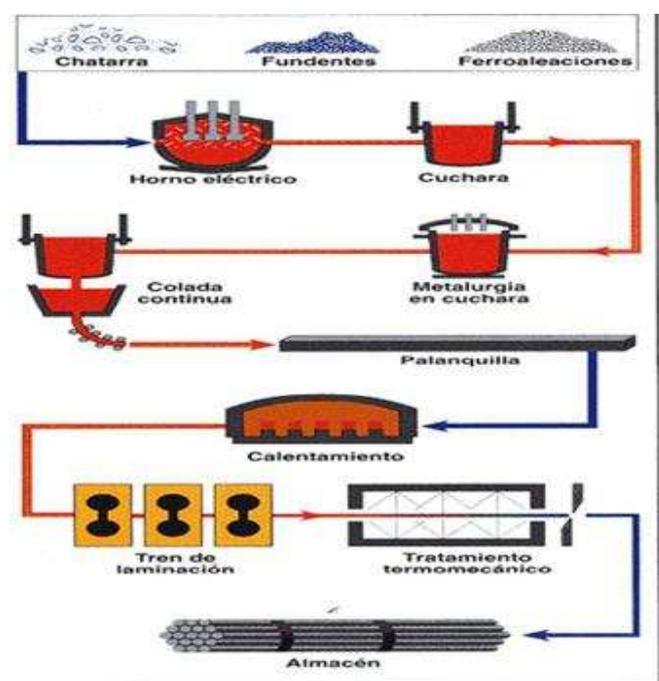


Figura 1.1 Proceso de Laminación de la Varilla de acero ¹

La materia prima para la obtención del acero es la chatarra, se realiza un pesaje y el control de calidad, verificándose los siguientes factores: densidad, tamaño, espesor, forma, composición química para observar la presencia de elementos residuales que sean difíciles de eliminar en el proceso de fundición.

¹ Naranjo Carlos. Rhea Martínez. Oscar Cruz. Diseño del sistema automático de conteo y verificación de las varillas para la empresa ANDEC-FUNASA. Tesis Ing. Mec. Quito. Escuela Politecnica del Ejercito. Abril 2010.13p.

La chatarra, junto con fundentes y ferroaleaciones, son sometidas al horno eléctrico, se procede a su fusión. El acero líquido obtenido en el horno es vaciado a la cuchara de colado, mediante grúa aérea es transportada a un horno de afinamiento, donde se realiza la metalurgia en cuchara, se le agregan elementos químicos hasta tener la composición requerida y la temperatura adecuada, según el grado de acero que se requiera obtener.

Nuevamente con ayuda de la grúa aérea, la cuchara es transportada a la máquina de colada continua. El acero líquido de la cuchara pasará al distribuidor de donde saldrá el acero líquido hacia las dos líneas de colado, donde pasa por un proceso de enfriamiento controlado, y se obtendrá la palanquilla ya moldeada.

Entramos posteriormente al proceso de aminado, donde se aprovecha la ductilidad del acero, es decir, su capacidad de deformarse, tanto mayor cuanto mayor es su temperatura. De ahí que la laminación en caliente se realiza a temperaturas comprendidas entre 1250 °C, al inicio del proceso, y 800 °C al final del mismo. La laminación sólo permite obtener productos de sección constante, como es el caso de las varillas corrugadas.

Las palanquillas conformadas en el anterior proceso son llevadas al horno de precalentamiento, hasta alcanzar una temperatura de 1250°, adecuada para el proceso de laminación. Alcanzada la temperatura deseada en toda la masa de la palanquilla, ésta es conducida a través de un camino de rodillos hasta el tren de laminación.

El tren de laminación está formado por parejas de cilindros que van reduciendo la sección de la palanquilla. Primero de la forma cuadrada a forma de óvalo, y después de forma de óvalo a forma redonda. A medida que disminuye la sección, aumenta la longitud del producto transformado.

Durante el proceso de laminación se le aplica tratamiento térmico al producto para mejorar sus propiedades mecánicas cumpliendo con las normas de calidad establecidas. Las varillas laminadas pasan a la cizalla de corte donde se corta a la medida requerida del cliente o la especificación del área de producción. Terminado este proceso las varillas se trasladan a la mesa de enfriamiento donde se procede al conteo manual por parte de los operarios, pasa después, a la zona de empaquetado, y pesado por una báscula, pasando por ultimo al etiquetado y almacenamiento del producto.

1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO A AUTOMATIZAR.

En este apartado se describirá el proceso actual de conteo, dando una identificación de las variables del proceso que se van a automatizar.

1.2.1 PROCESO.

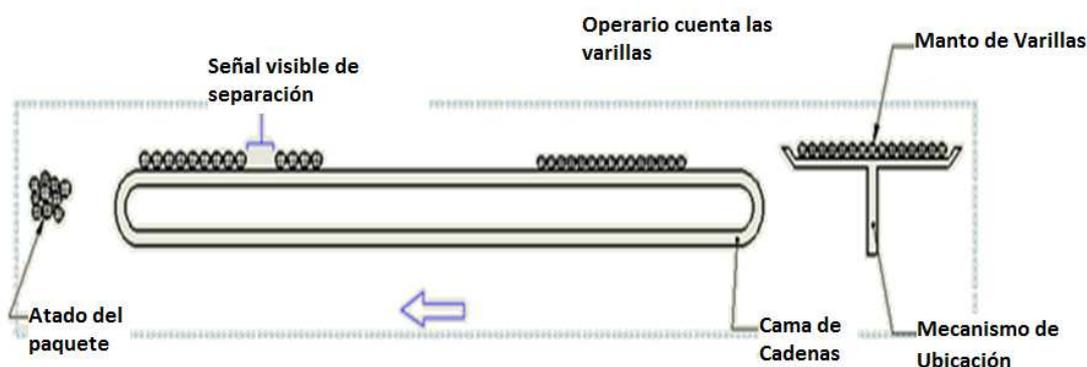


Figura 1.2 Esquema del proceso de formación de paquetes de varillas ²

La Figura 1.2 muestra el proceso actual de la empresa en la operación de armar paquetes de varillas de diferentes diámetros, en el diagrama de flujo (Figura 1.3) se muestra el algoritmo que siguen los operarios para la formación de paquetes.

² Fuente Propia

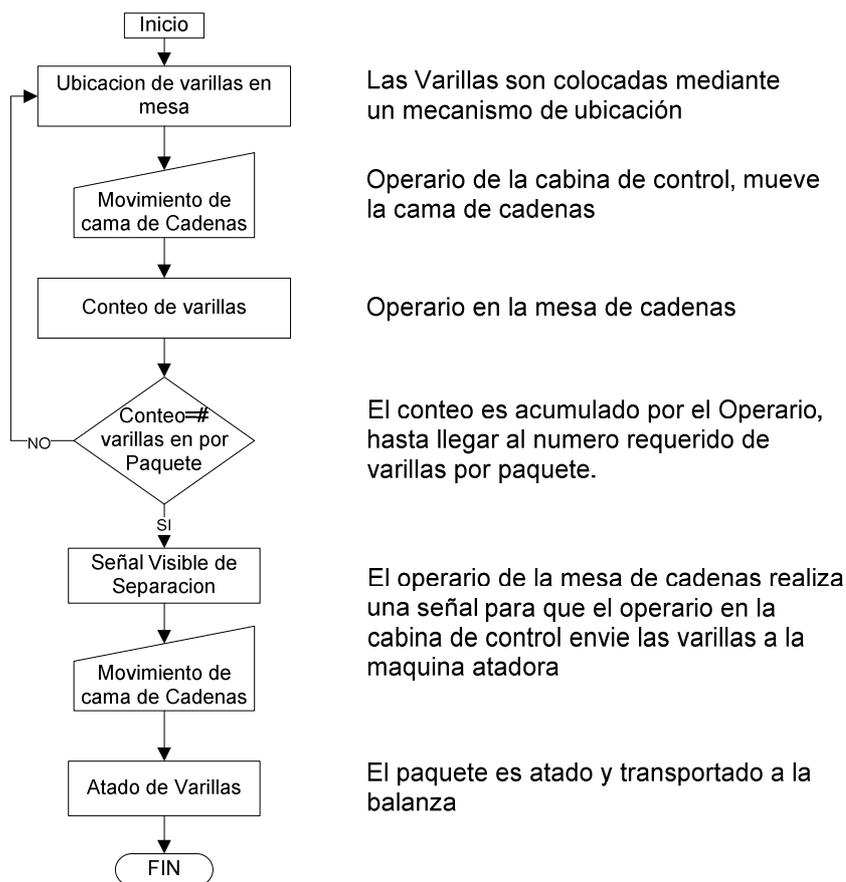


Figura 1.3 Diagrama de flujo del proceso actual.³

1.2.2 IDENTIFICACIÓN DE LAS VARIABLES DE PROCESO.

La Tabla 1 describe las variables identificadas para el proceso de conteo y separación de varillas.

| VARIABLES DE PROCESO | | | | |
|---------------------------|----------------------------|-----------|--------|-----------------------|
| Diámetro de varillas (mm) | # de varillas en cada lote | Masa Kg/m | | Peso Kg varillas 12 m |
| | | Nominal | Máximo | |
| 8 | 500 | 0.395 | 0.418 | 5.016 |
| 10 | 330 | 0.617 | 0.654 | 7.848 |
| 12 | 230 | 0.888 | 0.941 | 11.292 |
| 14 | 170 | 1.208 | 1.281 | 15.372 |

³ Fuente Propia

| Diámetro de varillas (mm) | # de varillas en cada lote | Masa Kg/m | | Peso Kg varillas 12 m |
|---------------------------------|----------------------------------|-----------|--------|-----------------------------|
| | | Nominal | Máximo | |
| 16 | 130 | 1.578 | 1.673 | 20.07 |
| 18 | 100 | 1.998 | 2.117 | 25.404 |
| 20 | 80 | 2.466 | 2.614 | 31.368 |
| 22 | 70 | 2.984 | 3.163 | 37.956 |
| 25 | 50 | 3.853 | 4.085 | 49.02 |
| 28 | 40 | 4.834 | 5.124 | 61.488 |
| 32 | 30 | 6.313 | 6.692 | 80.304 |

Tabla 1.1 Variables de Proceso ⁴

RECURSOS Y ESTADO DEL PROCESO PARA EL CONTÉO.

| RECURSOS | | |
|------------------|----------------------------|------------------|
| Operarios | Cabina de control | Cama de Cadenas |
| | 3 | 3 |
| EPP ⁵ | 3 | 3 |
| Iluminación | Tipo | Modo de uso |
| | Fluorescente Artificial | Solo en la noche |
| Cama de Cadenas | Marca | |
| | Danieli | |

Tabla 1.2 Recursos Actuales para el conteo⁶⁴ Fuente Departamento de Laminación ANDEC S.A⁵ EPP, Equipo de Protección Personal⁶ Fuente Propia

| ESTADO DEL PROCESO | | | |
|--|--|--|-------------------------------------|
| Tipo de sistema | | Manual | |
| Conteo: | | Cama de Cadenas | Cabina de control |
| Operarios | Actividades | *Contar y acumular Varillas (formar paquete) | *Manipulación de la Cama de cadenas |
| | | *Separar un paquete de otro | *Encargado del de atado automático |
| | Condiciones de trabajo | *Varillas a 60 °C | |
| | | *Varillas con fillos expuestos | |
| | | *Trabajo al aire libre | |
| *Poca Luz dependiendo de la hora del día | | | |
| | *Manipulación de pequeños (8,10,12mm) | | |
| Operarios | Posibles condiciones Personales | Estrés Laboral | Estrés Laboral ⁷ |
| | Problemas expuestos | *Lesiones graves | |
| | | *Cortes | |
| | | *Quemaduras | |
| *Esfuerzo de la vista | | | |
| Iluminación | Tipo | Fluorescente Artificial | |
| | Uso | desde 17:00 a 7:00 | |
| Cama de cadenas | Marca | Danieli Serie***** ⁸ | |
| | Control | Manual por el operario de la cabina de control | |

Tabla 1.3 Estado del proceso de Conteo y Separación⁹

1.3 JUSTIFICACIÓN.

ANDEC S.A. con el fin de ponerse en vanguardia en procesos de producción siderúrgica, ha automatizado la mayor parte del proceso de laminación, lo cual se ha logrado con alto nivel de satisfacción en los proceso del horno de palanquillas,

⁷ El estrés laboral y su influencia en el trabajo, María Atalaya P., Industrial Data 2001

⁸ Petición de ANDEC de no colocar la información completa.

⁹ Fuente Propia

laminación en caliente, laminación en frío, mesa de enfriamiento, etc. Pero el proceso que no está totalmente automatizado es el proceso de conteo de varillas, el cual se lo hace de una manera manual.

Los problemas presentes en este tipo de procesos manuales, son pérdidas en tiempos, reducción de velocidad de producción, fallas de conteo por parte del operario ya sea por cansancio, estrés o falta de cuidado del trabajo, además de posibles accidentes que podría sufrir el operador por la manipulación y condiciones en las que salen las varillas después del corte de cizalla, por lo que se necesita implementar un sistema automático capaz de adquirir y proporcionar resultados confiables, minimizando errores de conteo y salvaguardando la integridad física del operario, para lo cual ANDEC ha emprendido este proyecto de diseño de un sistema automático contador y un sistema mecánico de separación de las varillas.

1.4 OBJETIVOS

Los objetivos que se plantean, tienen como referencia las necesidades de la empresa auspiciante y los requerimientos del sistema automático prototipo contador y separador de varillas como tal.

1.4.1 GENERAL.

Diseñar e implementar un sistema de conteo y separación automático de varillas funcional, del cual se obtenga un error menor o igual al 5% en el conteo de varillas, para que satisfaga los requerimientos de la empresa, dentro de 6 meses a partir de ser aprobado el proyecto.

1.4.2 ESPECÍFICOS.

- Diseñar un sistema automático contador y separador de varillas con un error de hasta el 5% en el conteo de varillas.

- Diseñar un sistema mecánico separador, que soporte el ambiente y las cargas externas de trabajo.
- Diseñar los componentes mecánicos del separador que se adapten al espacio e infraestructura existente en el área de trabajo.
- Realizar un protocolo de pruebas, y documentarlas.
- Realizar un análisis y evaluación económico- financiero
- Usar, en la medida que se pueda, los equipos disponibles dentro de la empresa para el presente proyecto.

1.5 ALCANCE DEL PROYECTO.

Diseñar e implementar un sistema automático contador de varillas corrugadas de diámetros desde 8 mm a 32 mm por 12 m de largo, capaz de formar paquetes desde 50 a 500 varillas usando un sistema mecánico separador, con un HMI, el más sencillo de entender y ser usado por los operarios de la empresa ANDEC SA.

1.6 METODOLOGÍA DEL PROYECTO.

En base a la metodología propuesta en el documento “Metodología en Proyectos Mecatrónicos Industriales” por el autor Vargas Soto José Emilio, la metodología de trabajo propuesta es la siguiente:

- a) Modelación cinemática y dinámica del sistema separador de varillas.
- b) Inspección la infraestructura que se cuenta para la implementación del sistema.
- c) Diseño mecánico del sistema separador mecánico de varillas con la utilización de paquetes computacionales CAE y CAD

- d)** Diseño eléctrico del sistema.
- e)** Diseño del sistema de control, tanto el de conteo como el programa controlador del separador.
- f)** Simulación del prototipo integrado.
- g)** Nueva modelación cinemática y dinámica del prototipo
- h)** Implementación de algoritmos de control
 - a)** Fabricación del Prototipo
 - b)** Ensamblaje y pruebas de actuación del prototipo.
 - c)** Monitorización de variables
 - d)** Valoración de la actuación
 - e)** Análisis de resultados

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

Este Capítulo tratará sobre los diferentes sistemas mecánicos, eléctricos – electrónicos de conteo y separación de varillas, dando una breve explicación de su forma de funcionamiento y elementos principales, concluyendo con un análisis y selección de la alternativa más adecuada para el proyecto.

2.1 SISTEMA PARA CONTEO Y SEPARACIÓN DE VARILLAS.

De acuerdo con la investigación y estudios realizados en el área de la siderúrgica, específicamente en el tipo de maquinarias utilizadas para el conteo de varillas, se encontró diversas formas entre las comunes que son utilizadas e implementadas en las empresas.

La Figura 2.1 nos resume los diferentes sistemas mecánicos, eléctricos-electrónicos para el conteo y separación de varillas.

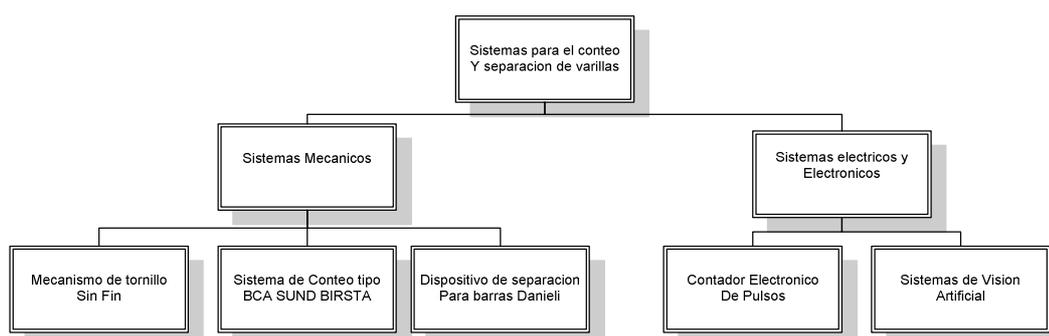


Figura 2.1 Cuadro sistemas para el conteo y separación de varillas¹⁰

¹⁰ Fuente Propia

2.1.1 MECANISMO TORNILLO SIN FIN.

Este mecanismo de conteo consiste en un sistema que utiliza una parte mecánica-óptica. La parte mecánica utiliza un motor eléctrico el cual está conectado a un tornillo sin fin, que se encarga de separar las varillas. La parte óptica es la que se encarga del conteo de varillas con la utilización de sensores de presencia, cuentan el paso o interrupción de la señal que las varillas ocasionan al momento de cortar la luz entre sensores.

El desplazamiento de las varillas se obtiene mediante un tornillo sin fin giratorio, este las separa en una dirección perpendicular a los ejes de las propias varillas, el tornillo sin fin está dotado de una rosca helicoidal que define una pluralidad de surcos por toda la longitud, alojando una varilla en cada uno de dichos surcos, al menos una varilla que se mueve hacia la dirección del contador, donde este sistema está comprendido por sensores de presencia que se encargan de identificar el corte de la señal luminosa, la cual se digita como conteo, este se encuentra perpendicular al eje longitudinal del movimiento de las varillas. Al momento de completar el conteo el sensor emite una señal para detener el motor, activar las cadenas, separar las varillas y llevarlas a la zona de atado. El tornillo sin fin tiene movimiento constante gracias a un motor eléctrico, para permitir la separación de las varillas, garantizando el conteo individual. Al tornillo sin fin se lo cambia dependiendo del diámetro de varilla que se vaya a producir y por ende contar, lo cual requiere un tiempo de aproximadamente 1 hora hasta dejarlo calibrado a la velocidad deseada. La Figura 2.2 muestra un sistema separador y contador de varillas mediante tornillo sin fin.

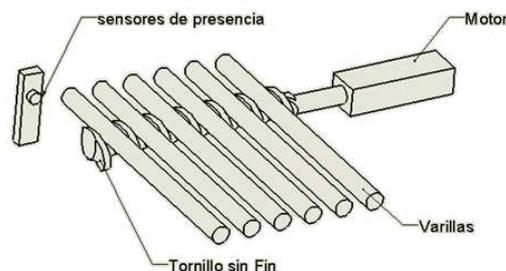


Figura 2.2. Sistema contador de varillas mediante Tornillo sin fin.¹¹

El mantenimiento o cambio del tornillo sin fin depende del grado de erosión de los surcos. Los surcos del tornillo sin fin han sido ampliamente estandarizados, estos reciben un tratamiento térmico de endurecimiento para aumentar su dureza y tenacidad, ya que se encuentran expuestos a la abrasión. Los ángulos de presión empleados en el conteo de las varillas dependen de los ángulos de avance, y de los diámetros de varillas que se encuentren laminando, los cuales deben ser lo suficientemente grandes para evitar el rebaje por corte de las varillas en el lado que se termina el contacto. La altura de dientes satisfactoria, tiene que guardar la proporción correcta con el ángulo de avance, puede obtenerse dando a la altura un valor en proporción al del paso circular axial.

El sensor de presencia soporta la temperatura que emiten las varillas, el sensor necesita un mantenimiento de limpieza de los lentes que emiten el haz de luz. Los mecanismos de tornillo pueden ser simple o doblemente envolventes. Los de primer tipo son aquellos en los que la rueda envuelve o encierra parcialmente al tornillo. Los mecanismos en los que cada elemento envuelve parcialmente al otro son, desde luego, los doblemente envolventes. La diferencia más importante que hay entre los dos, es que existe contacto de superficie entre los dientes de los elementos doblemente envolventes

¹¹ Fuente Propia

y solo contacto de línea entre los elementos simplemente envolventes. El mecanismo más usado es el simple.

2.1.2 SISTEMA DE CONTEO DE TIPO BCA SUND- BIRSTA

Es un sistema muy parecido al anterior, es decir consta de tornillo y sensores de presencia tipo laser emisor y receptor, junto con un codificador, que ejecuta la operación de conteo, pero la diferencia es que usa dos sensores para verificar el conteo, minimizando el error que podría existir y una rueda dentada para asegurar que una sola varilla sea separada por el sistema tornillo sin fin. Ver Figura 2.3

El sistema de conteo está equipado con un sistema automático de identificación de rueda dentada, tornillo sin fin, y diámetro de varilla para la cuenta. Si la rueda dentada o tornillo sin fin adecuado para la cuenta del diámetro de la varilla ingresada, la maquina dará una alarma para la realización del cambio correcto de equipo.

La velocidad de la cama de cadenas, sistema separador de tornillo sin fin y rueda dentada es sincronizada.

Las varillas son separadas por el tornillo sin fin, uno de los sensores laser indica si uno o dos varillas ha sido separada, luego pasa por la rueda dentada donde solo una de las varillas es agarrada por el sistema y contada nuevamente con el segundo sensor laser. Una vez alcanzado el (set point) de numero de varillas por paquete, la rueda dentada se detiene y se transfiere el paquete a la siguiente estación.

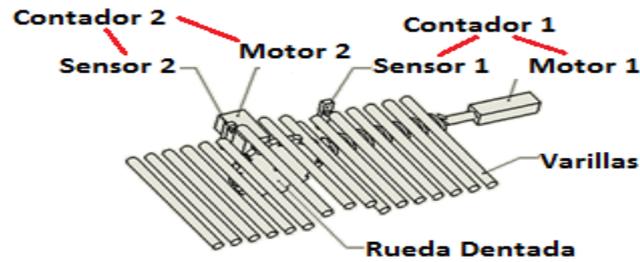


Figura 2.3. Esquema sistema de conteo de tipo BCA SUND- BIRSTA¹²

2.1.3 DISPOSITIVO DE SEPARACIÓN PARA BARRAS LAMINADAS (DANIELI)¹³

Es un dispositivo patentado por la empresa Danieli. Se utiliza en la zona en la que se forman capas o paquetes de barra, para separar, distanciar y alinear las barras que llegan de la zona de enfriamiento, situada aguas abajo de la línea de laminación o acabado, con el objeto de obtener un mejor empaquetado, más regular y más preciso de dichas barras.

Funcionamiento:

Con referencia a las figuras adjuntas, con el número 10 se designa generalmente un conjunto para separar barras laminadas 12, que forma parte de un dispositivo de separación, que comprende una pluralidad de dichos conjuntos 10, dispuestos alineados en sentido prácticamente paralelo al eje longitudinal de las barras 12.

Las barras 12 llegan de la zona de enfriamiento o lecho, situada aguas abajo de la línea de laminación o acabado, y se disponen sobre un plano transportador 11, definido por una pluralidad de elementos de moción de tipo cadena 14, dispuestos paralelos entre si y espaciados en sentido longitudinal.

¹² Fuente Propia

¹³ Dispositivo de separación para barras laminadas, Danieli & C. Officine Meccaniche SpA, Oficina Española de Patentes #2199511, 16 de febrero 2004.

Los elementos de moción 14 son accionados por unos medios respectivos 26 y pueden desplazar progresivamente las barras 12, en una dirección “A” ortogonal a su eje longitudinal, desde la entrada a la salida del plano transportador 11.

El dispositivo contador / espaciador 13 puede ser con tornillo sin fin o de cualquier otro tipo convencional.

Cuando las barras 12 llegan del lecho de enfriamiento y se descargan sobre el plano transportador 11, se suelen disponer superpuestas e incluso dobladas y entrelazadas: esto hace que resulte extremadamente problemático su recuento correcto y dificulta asimismo la formación eficaz de paquetes y de capas homogéneas.

La función del dispositivo contador / separador 13 es actuar sobre la punta guía de cada barra 12 y acelerarla con respecto a la velocidad de avance de los elementos de moción 14, separando por consiguiente dos barras adyacentes 12 por lo menos respecto del segmento frontal de la punta guía.

Los conjuntos separadores 10 están dispuestos en los espacios comprendidos entre dos elementos de moción adyacentes 14 y pueden hacerse funcionar progresiva y ventajosamente en secuencia temporal, partiendo del conjunto 10a más cercano a la punta guía de la barra 12 hasta el conjunto más alejado 10b, para ir separando progresivamente una barra 12 de la barra adyacente en toda su longitud.

En otras palabras, el primer conjunto separador 10a puede insertarse en el espacio comprendido entre las puntas guías de dos barras adyacentes 12, causado por la acción del dispositivo contador / separador 13, se inserta el conjunto separador siguiente 10 en el espacio causado por el primer conjunto separador 10a, y así sucesivamente hasta que se han separado los extremos finales de las barras 12.

El resultado de esta operación es que se separan dos barras adyacentes 12 y se distancian un valor deseado para que puedan ser contadas eficazmente y manipuladas mejor.

Además, aguas abajo del dispositivo de separación, se obtienen barras perfectamente alineadas y paralelas 12.

Cada conjunto separador 10 comprende unos medios separadores que consisten, en este caso, en tres pares de ganchos separadores 15, que se pueden activar simultáneamente.

Para ser más exactos, visto en la dirección de la punta guía de las barras 12 hacia el extremo final, cada conjunto 10 tiene un primer par de ganchos, respectivamente, derecho 15a e izquierdo 115a, un segundo par de ganchos, derecho 15b e izquierdo 115b y un tercer par de ganchos, derecho 15c e izquierdo 115c.

Los ganchos de cada par son idénticos, montados especularmente sobre los soportes respectivos y de forma y tamaño diferentes de los ganchos de otro par, como se explicará más adelante.

Para ser más exactos, los ganchos 15 consisten en dos brazos que forman prácticamente un ángulo recto entre sí, un primer brazo 29 prácticamente rectilíneo e idéntico para todos los ganchos 15, y un segundo brazo arqueado 30, de tamaño y forma diferente según la posición con respecto al dispositivo contador / espaciador 13.

Los ganchos derechos 15a, 15b y 15c de cada par están sujetos en voladizo a un apoyo de viga correspondiente, que consiste en un primer cilindro 16 que se puede hacer girar alrededor de su propio eje prácticamente horizontal 17.

Los ganchos izquierdos 115a, 115b y 115c están sujetos a un apoyo de viga correspondiente, que consiste en un segundo cilindro 18 que se puede hacer girar alrededor de su propio eje, prácticamente horizontal, 19 paralelo y coplanar con el eje 17.

Los dos cilindros 16 y 18 están montados, con sus extremos respectivos sobre dos placas de soporte 27 y dispuestos prácticamente paralelos a las barras 112.

Los ganchos 15 descansan y giran sobre un plano vertical prácticamente ortogonal al eje de las barras 12.

El movimiento de rotación de los cilindros respectivos 17 y 18 sirve para mover todos los ganchos 15 desde una primera posición inactiva por debajo del plano transportador 11 definido por los elementos de moción 14 (figura 2.5), hasta una posición progresivamente por encima de dicho plano transportador 11, con el fin de separar y distanciar recíprocamente las dos barras adyacentes 12a y 12b.

La figura 2.6 muestra una segunda posición de trabajo, intermedia, mientras que la figura 2.7 muestra los ganchos 15 en su posición de máxima elevación con respecto al plano transportador 11, que corresponde al máximo valor “i” de separación que se puede obtener entre las dos barras adyacentes 12a y 12b.

En este caso, los dos cilindros 16 y 18 se mueven simultáneamente y de forma coordinada mediante la acción de un solo accionador 20, de tipo (jack) que actúa sobre una extensión 22 de un elemento de palanca 21, solidario con el segundo cilindro 18.

El accionador 20 está montado sobre una de las placas de soporte 27 por medio de una placa de montaje 28. Una segunda extensión 23 del elemento de palanca 21 está

conectada, por medio de una varilla transversal 24, con una consola 25 solidaria con el primer cilindro 16.

En esta configuración, la acción de tracción del accionador 20 hace que el elemento de palanca 21 y por consiguiente el segundo cilindro 18 gire en torno al eje de rotación 19; esta rotación se transmite al primer cilindro 18 por medio de la varilla transversal 24.

La varilla transversal 24 se puede regular en tamaño para que se puedan colocar adecuadamente los pares de ganchos 15. La rotación de los dos cilindros 16 y 18 eleva los ganchos 15 y los va moviendo progresivamente sobre el plano transportador 11 de las barras 12. El movimiento inverso del accionador 20 hace que los cilindros 16 y 18 giren en sentido contrario, haciendo por lo tanto que los ganchos 15 desciendan hasta una posición por debajo del plano transportador 11.

El segundo brazo 30 de cada gancho 15 tiene un perfil curvado para generar, mientras se eleva, un movimiento de traslación de la barra 12 sobre el plano transportador 11.

Para ser más exactos, el segundo brazo 30 tiene un perfil interno 31 con un doble arco definido por un primer segmento superior 31a y un segundo segmento inferior consecutivo 31 b. El primer segmento superior 31a produce un desplazamiento lateral progresivo de la barra 12 mientras que el gancho correspondiente 15 se eleva con respecto al plano transportador 11, mientras que el segundo segmento inferior 31b ya no produce ningún desplazamiento sustancial de la barra 12 incluso si el gancho 15 sigue su movimiento ascendente con respecto al plano transportador 11.

Para el funcionamiento de cada conjunto separador 10, habrá que ver la figura 2.4 en combinación con las figuras 2a, 2b y 2c. En la figura 2^a, los ganchos 15 se

encuentran todos en la posición inactiva por debajo del plano transportador 11; las barras 12a y 12b se trasladan sobre el plano transportador 11 únicamente con los segmentos respectivos de su punta guía separados por el dispositivo contador / espaciador 13, mientras que los segmentos restantes hacia el extremo final se solapan y doblan.

Cuando las barras 12a y 12b se encuentran por encima de los primeros conjuntos separadores 10, se hace que los ganchos 15 se muevan hacia arriba activando el accionador 20. Los ganchos 15, como se ha visto anteriormente, se activan todos simultáneamente; no obstante, los ganchos 15a, 115a del primer par, que son los que están más cerca del dispositivo contador / espaciador 20 entran en primer lugar en contacto con las barras respectivas 12a y 12b, mientras que los segundos brazos respectivos 30 son más largos que los segundos brazos 30 de los segundos ganchos 15b, 115b, que a su vez son más largos que los segundos brazos 30 de los terceros ganchos 15c, 115c.

Al pasar de la posición mostrada en la figura 2^a a la posición mostrada en la figura 2.6, el primer elemento superior 31a del perfil 31 del gancho 15 se introduce en el espacio comprendido entre dos barras adyacentes 12, creado por el dispositivo contador / espaciador 13, y desplaza progresivamente la barra respectiva 12a hacia la izquierda, actuando sobre un segmento de la barra cercano a la punta guía de la barra 12; el gancho 115a desplaza la barra 12b hacia la derecha en la misma proporción.

De forma idéntica, en una posición aguas abajo y con cierto retraso, los segundos ganchos 15b y 115b entran en contacto con las barras respectivas 12a y 12b, introduciéndose en el espacio creado por los primeros ganchos 15a y 115a y gracias a la conformación de su perfil interno, ejercen una acción de separación progresiva,

distanciamiento y alineación de las barras 12a, 12b. En una posición todavía más aguas abajo y después de otro breve período de tiempo, los terceros ganchos 15c y 115c entran también en el espacio comprendido entre las dos barras 12a y 12b y, con su perfil interno 31, actúan de forma que siguen separando las barras 12.

Esta acción distanciadora se propaga progresivamente desde un conjunto separador 10 al otro, hacia el extremo final de las barras 12. La acción distanciadora se acciona únicamente para el segmento superior 31a del perfil interno 31 de los ganchos 15.

Cuando se ha hecho pasar el segmento superior 31a, una elevación ulterior de los ganchos 15 ya no produce ningún desplazamiento lateral sustancial de las barras 12. Como en todos los ganchos 15, el punto en el que el segmento superior 31a cambia hacia el segmento inferior 31b de los perfiles internos respectivos 31 está alineado en un solo arco, como se puede ver en la figura 2.6, la barra 12 que emerge del conjunto separador correspondiente 10 está perfectamente alineada, para este segmento longitudinal específico. La intervención progresiva de los sucesivos conjuntos separadores 10 causa la alineación progresiva consecutiva, en toda la longitud, de la barra 12 que emerge de la zona de separación, como se puede ver en la figura 2.4, distanciada y perfectamente alineada con la barra precedente.

Los ganchos 15 también tienen un perfil exterior arqueado 131, para evitar que una barra 12 que se puede deslizar hacia una posición intermedia fuera de los ganchos 15 sea cizallada en el movimiento subsiguiente de cierre y descenso para volver a la posición inactiva tal como se muestra en la figura 2.5.

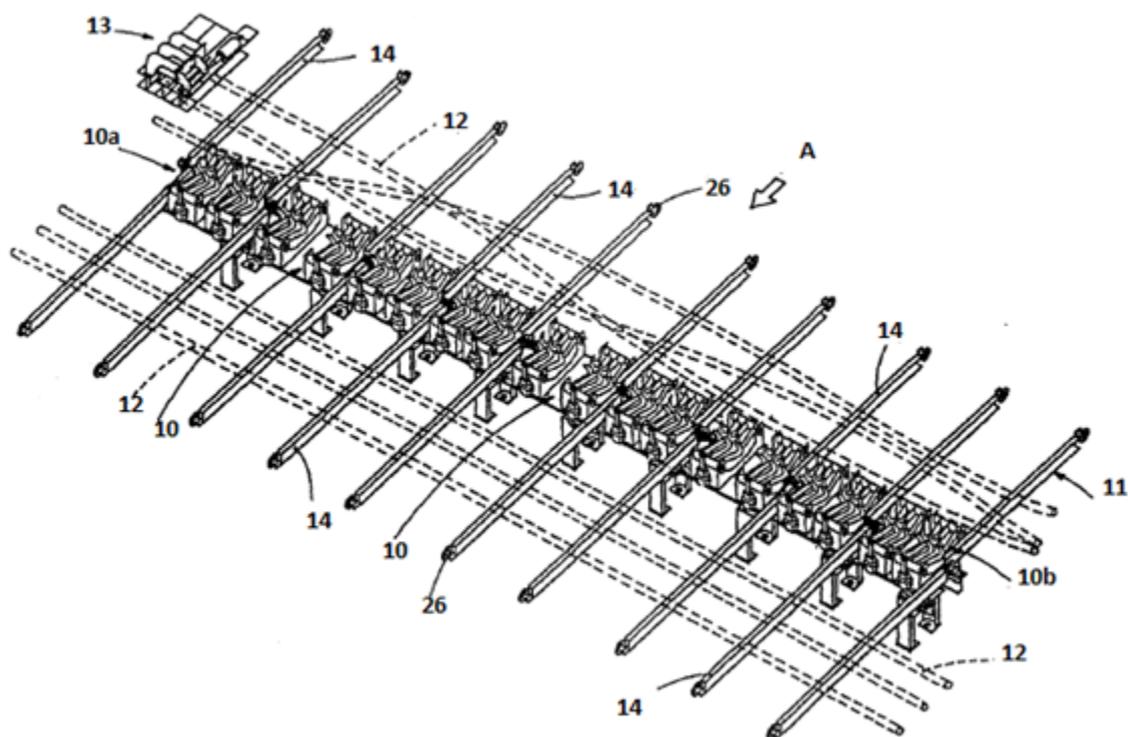


Figura 2.4. Vista Isométrica Contador Danieli¹⁴

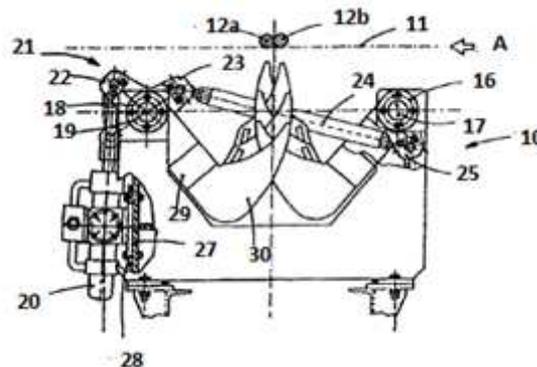


Figura 2.5. Vista Lateral Posición A Contador Danieli¹⁵

¹⁴ Dispositivo de separación para barras laminadas, Danieli & C. Officine Meccaniche SpA, Oficina Española de Patentes #2199511, 16 de febrero 2004, p 8.

¹⁵ Dispositivo de separación para barras laminadas, Danieli & C. Officine Meccaniche SpA, Oficina Española de Patentes #2199511, 16 de febrero 2004, p 9.

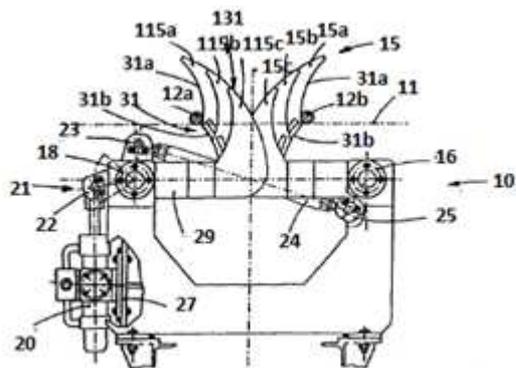


Figura 2.6. Vista Lateral Posición B Contador Danieli¹⁶

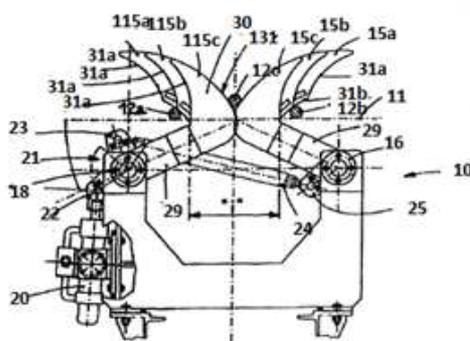


Figura 2.7. Vista Lateral Posición C Contador Danieli¹⁷

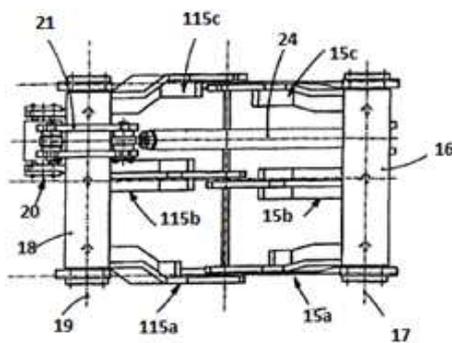


Figura 2.8. Vista Superior sección Ganchos Contador Danieli¹⁸

¹⁶ Dispositivo de separación para barras laminadas, Danieli & C. Officine Meccaniche SpA, Oficina Española de Patentes #2199511, 16 de febrero 2004, p 9.

¹⁷ Dispositivo de separación para barras laminadas, Danieli & C. Officine Meccaniche SpA, Oficina Española de Patentes #2199511, 16 de febrero 2004, p 9.

¹⁸ Dispositivo de separación para barras laminadas, Danieli & C. Officine Meccaniche SpA, Oficina Española de Patentes #2199511, 16 de febrero 2004, p 10.

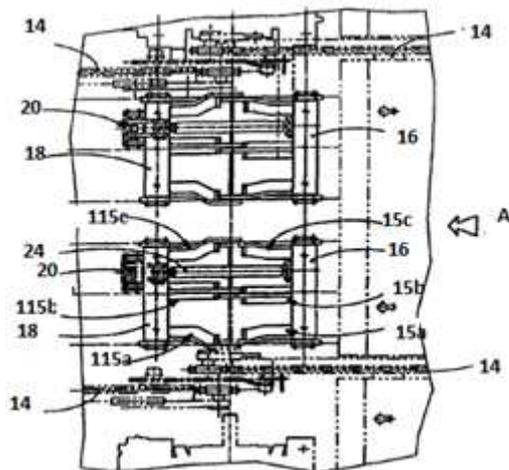


Figura 2.9. Vista Superior sección Rodillos Contador Danieli¹⁹

2.1.4 CONTADOR ELECTRÓNICO DE PULSOS.

Un sistema contador por medio de un control de velocidad diferencial para los motores 1 y 2 de la figura 2.10, al aumentar la velocidad del motor 2 y por lo tanto de las cadenas que conforman el transportador se podrá lograr una separación de la varilla que facilite su detección.

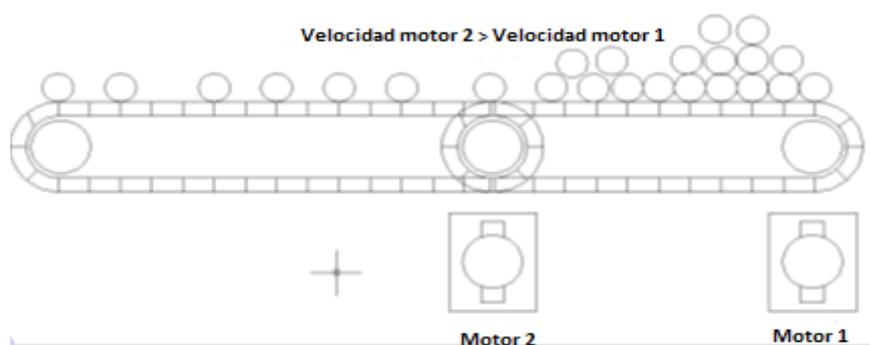


Figura 2.10. Esquema contador electrónico²⁰

Para lograr la adecuada separación de la varilla se agrega un sistema de potencia para el control de los motores por medio de un variador de frecuencia. Este dispositivo

¹⁹ Dispositivo de separación para barras laminadas, Danieli & C. Officine Meccaniche SpA, Oficina Española de Patentes #2199511, 16 de febrero 2004, p 10.

²⁰ Diseño del sistema automático de conteo y verificación de las varillas para la empresa ANDEC-FUNASA, Naranjo Carlos, Rhea Martínez, Oscar Cruz, Abril 2010, p 34

además de ser un dispositivo de gran versatilidad para el control de velocidad de motores, presenta características de comunicación por medio de red, lo cual permite controlar y variar sus parámetros desde un CPU, haciendo el sistema más versátil y dinámico.

Un contador electrónico básicamente consta de una entrada de impulsos que se encarga de conformar, de manera que el conteo de los mismos no sea alterado por señales no deseadas, las cuales pueden falsear el resultado final. Estos impulsos son acumulados en un contador propiamente dicho cuyo resultado, se presenta mediante un visor que puede estar constituido por una serie de sencillos dígitos de siete segmentos o en su caso mediante una sofisticada pantalla de plasma.

Los sensores son dispositivos electrónicos diseñados para transformar las magnitudes de las variables físicas del entorno en señales que puedan ser interpretadas por sistemas de centrales de control. Los sensores por lo tanto son transductores que convierten una característica física en otra diferente para ser más fácilmente interpretada.

El sensor utilizado para el sistema es de carácter fotoeléctrico. Estos sensores cuentan con un emisor, un receptor de luz, lentes y un dispositivo de salida. El emisor de luz es diseñado comúnmente a partir de un indicador LED, los cuales trabajan en un amplio margen de temperatura y son resistentes a golpes y vibraciones. En el caso de los receptores se utilizan foto sensores principalmente basados en fotodiodos y fototransistores, ya que estos son componentes semiconductores que conducen corriente eléctrica dependiendo de la cantidad de luz detectada. Estos foto sensores son más sensibles a ciertas longitudes de onda, por lo que para mejorar la detección y sensibilidad se deben acoplar espectralmente con la longitud de onda del LED emisor.

2.1.5 SISTEMA DE VISIÓN ARTIFICIAL.

La figura 2.11. Muestra los componentes principales de un sistema de visión artificial.

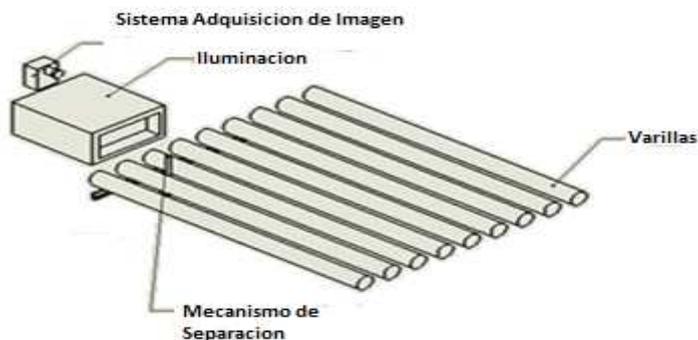


Figura 2.11 Esquema sistema de visión artificial.²¹

La visión artificial es la adquisición de imágenes y su análisis e interpretación posterior con el fin de obtener la información necesaria para controlar una máquina o un proceso industrial. La extracción de la información de un objeto o una escena en una o más imágenes se realiza de forma automática y sin establecer contacto físico con el objeto. Por lo que se ha desarrollado sistemas mixtos de conteo y separación de varillas.

Los sistemas mixtos de visión artificial constan de las siguientes partes.

- Iluminación
- Sistema de adquisición de imagen
- Procesamiento de imagen
- Sistema mecánico de separación.

El factor más crítico en un sistema de visión artificial es la iluminación, ya que de esta depende la obtención de una buena calidad de imagen que contenga toda la información necesaria, clara y sin distorsiones, para que el procesamiento sea óptimo y

²¹ Fuente Propia

se obtenga resultados favorables. El objetivo principal de la iluminación es lograr una diferencia notable y sustancial entre el fondo (background) y el objeto de análisis.

Es un gasto innecesario y nada productivo el uso de procesamiento digital para intentar mejorar la calidad de la imagen sin tomar en cuenta la iluminación, es decir no se puede sustituir la iluminación con un procesamiento exhaustivo de la imagen. Esto compromete tiempo de procesamiento y recursos improductivos que no darán los resultados esperados.

El procesamiento de la imagen comprende varios filtros, métodos de procesamiento para obtener la información necesaria para la aplicación que en este caso es lograr obtener una buena imagen del perfil redondo de la varilla, usando métodos como: binarización de imagen, histograma, método de segmentación (threshold), algoritmos de reconocimiento de perfiles.

Una vez realizado el procesamiento y obtenido el resultado deseado, es decir el número de varillas y la ubicación de la última varilla conformadora del paquete, se envía este dato al sistema separador.

Se debe tomar en cuenta que el error mayormente se presenta en el momento de separación. Siendo el diseño de este mecanismo un sistema de cuidado para minimizar el error lo más posible.

Existen contadores y separadores de este tipo en el mercado, usan sistemas de visión, cámaras especializadas y mecanismos de separación, algunos manuales como es el caso del sistema JS-30, y otros automáticos aun en desarrollo.

La figura 2.12 muestra el diagrama de flujo del funcionamiento de este tipo de sistemas de visión artificial:

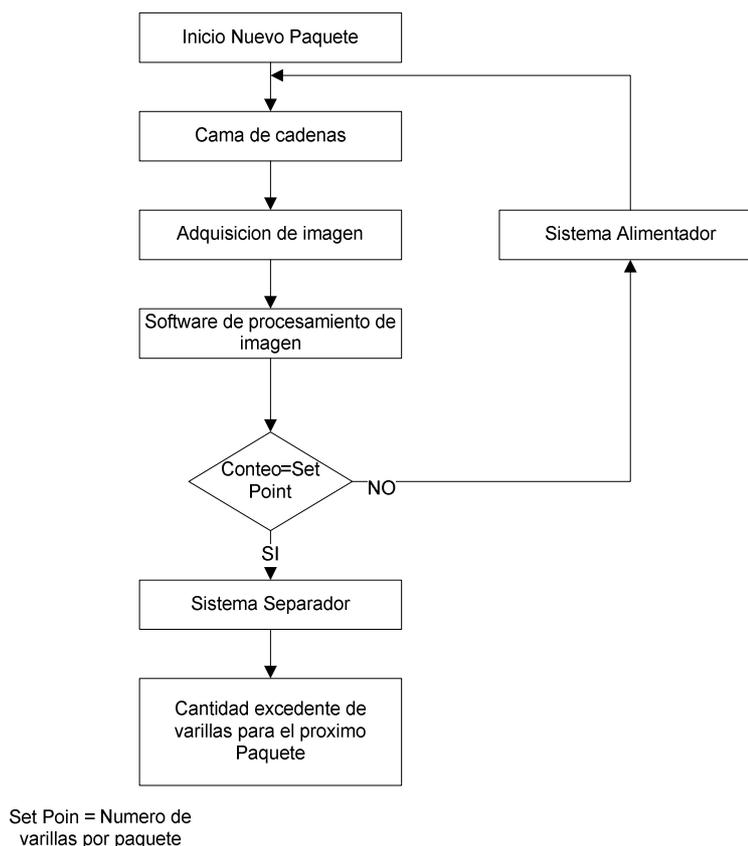


Figura 2.12 Diagrama de flujo del sistema típico de visión artificial.²²

2.2 ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS.

De acuerdo con el estudio e investigación de las alternativas de los contadores sean mecánicos o automáticos que se encuentran vigentes a nivel mundial y que son utilizadas por otras empresas, se ha llegado a formar una matriz de selección (Tabla 2.1) para el desarrollo del diseño del sistema de conteo de varillas, el cual servirá para ayudar a la selección del diseño más óptimo, partimos de parámetros establecidos por nosotros, basados en satisfacer la necesidad de la empresa. Para la escala de selección de la matriz tenemos los siguientes valores del 1 al 10, siendo 10 el valor más alto y conveniente.

²² Fuente Propia

| <i>SISTEMA</i> | TORNILLO | SUND | DANIELI | CONTADOR | VISIÓN |
|-------------------------------|----------|--------|---------|----------|------------|
| | SIN FIN | BIRSTA | | PULSOS | ARTIFICIAL |
| <i>CARACTERÍSTICAS</i> | | | | | |
| Bajo Costo de implementación | 8 | 7 | 8 | 7 | 7 |
| Disponibilidad de equipo | 9 | 8 | 9 | 8 | 7 |
| Poco Espacio de montaje | 5 | 6 | 5 | 8 | 9 |
| Confiabilidad al contar | 5 | 9 | 5 | 6 | 9 |
| Tecnología actual | 6 | 7 | 6 | 7 | 10 |
| Mantenimiento | 5 | 6 | 5 | 8 | 10 |
| Facilidad de repuestos | 9 | 8 | 9 | 8 | 7 |
| Tiempo de respuesta | 6 | 9 | 6 | 9 | 10 |
| Conectividad | 5 | 6 | 5 | 6 | 10 |
| Asesoría técnica | 6 | 7 | 6 | 7 | 8 |
| <i>TOTAL</i> | 64 | 73 | 64 | 74 | 87 |

Tabla 2.1 Tabla de análisis y selección de alternativas²³

En base a la Tabla 2.1 se concluye que la mejor alternativa para el sistema de conteo y separación de varillas es un sistema electrónico de visión artificial.

²³ Fuente Propia

CAPITULO III

DISEÑO DEL SISTEMA

En este capítulo se diseñará el sistema de conteo y separación de varillas por medio de visión artificial, empezando por el diseño mecánico, eléctrico – electrónico del separador, el diseño del sistema de visión artificial y el software de control del separador.

3.1 DISEÑO MECÁNICO DEL SISTEMA SEPARADOR

Por lo que corresponde a la fase de separación de varillas, es necesario un sistema el cual logre dividir de manera precisa el manto de varillas entre las varillas que se necesitan para completar el paquete y las que no. Para lo cual se deben tomar en cuenta varios sistemas que logren realizar esta función de manera apropiada, pero la selección no se puede tomar a la ligera ya por que este se tiene que acoplar a varios parámetros con los que su diseñador debe tener muy en cuenta.

De los sistemas varios que se han investigado se va a profundizar en dos en especial ya que a primera manera cumplen con las expectativas requeridas de diseño. Una de las cuales es su viabilidad de acople a la Cama de Cadenas, en donde reposan y se transportan los mantos de varillas para formar el manto. Las figuras 3.1 y 3.2 muestran las vistas isométricas, frontal y trasera de la cama de cadenas de la empresa ANDEC S.A.

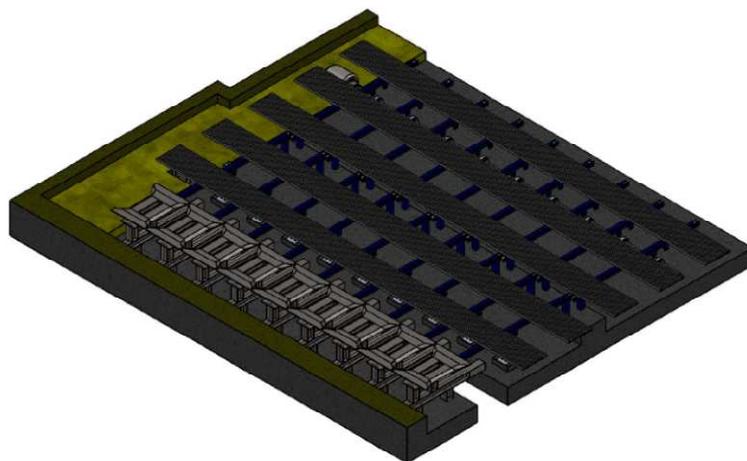


Figura 3.1 Cama de Cadenas (Vista Isométrica Frontal)²⁴

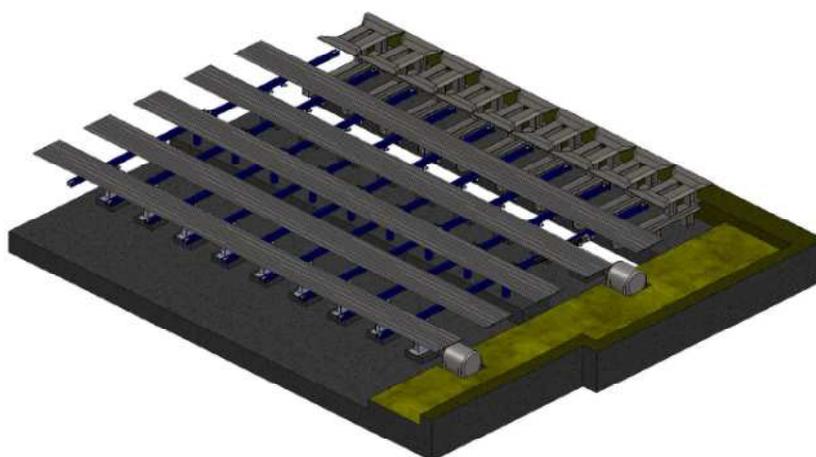


Figura 3.2 Cama de Cadenas (Vista Isométrica Trasera)²⁵

En este capítulo la correcta selección de los materiales para utilizarse en el mecanismo de separación es de vital importancia en el diseño, con lo que se garantiza que el sistema mecánico no colapse al momento de su montaje, para evitar estos inconvenientes se realizan simulaciones y animaciones para la validación del diseño, así como el uso de factores de seguridad conservadores, garantizando el funcionamiento del mecanismo.

Los sistemas separadores tomados en cuenta para su implementación son:

²⁴ Fuente Propia

²⁵ Fuente Propia

1. Sistemas por uñas curvas.
2. Sistemas por posicionamiento lineal.
 - a. Tornillo de Potencia (de Bolas).
 - b. Sistema Lineal por Correa.
 - c. Sistema Piñón-Cremallera.

Por motivos de funcionamiento para el sistema de posicionamiento lineal, va ser necesario implementar en el sistema, dos actuadores detallados a continuación:

- Actuador de giro, a utilizarse para transmitir movimiento al tornillo de potencia.

Los actuadores de giro tomados en cuenta para su análisis son:

1. Servomotor
 2. Motor a pasos
- Actuador lineal, será el encargado para la separación de varillas cuando el sistema de posicionamiento lineal se encuentre en la posición deseada. En donde los siguientes van a ser analizados para su implementación:
 1. Actuador Neumático (Cilindro).
 2. Actuador Hidráulico (Cilindro).
 3. Actuador Lineal Eléctrico.

3.1.1 SELECCIÓN DE SISTEMAS DE SEPARACIÓN.

En este apartado se seleccionara el sistema de separación, entre las alternativas existentes actualmente en el mercado.

3.1.1.1 Sistemas por uñas curvas

El mecanismo separador trabaja conjuntamente con la cámara, que se encuentra en la mesa de cadenas conlleva gran precisión y exactitud, para obtener una sincronización exacta, al momento que la cámara terminara de contar, esta acciona la central hidráulica la cual activa las válvulas y esta los pistones con lo que el eje mueve las uñas y levantan las varillas. La figura 3.3 muestra un esquema de este sistema.

Las uñas se encuentran desfasadas en cuestión de inclinación, el motivo de esto es que la separación de las varillas sea escalonada, por esta manera se puede asegurar que se separe la varilla deseada evitando el cruce de varillas.

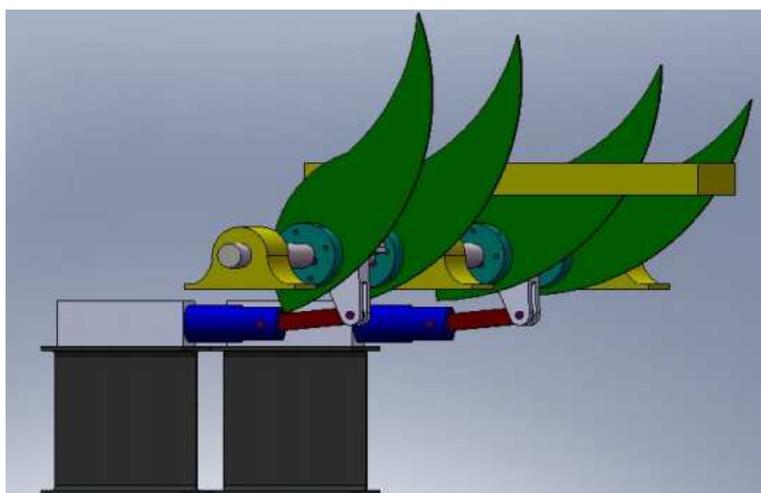


Figura 3.3. Esquema de separador mecánico de uñas curvas.²⁶

Ventajas:

- Las partes del sistema se las puede manufacturar sin ningún inconveniente, además que su funcionamiento es práctico, lo que lo vuelve un sistema robusto que se puede adaptar en ambientes industriales hostiles (suciedad y polvo).

²⁶ Fuente Propia

Desventajas:

- Por ser un sistema conjunto por motivos de mantenimiento no es muy efectivo, es decir es necesaria una parada de producción para realizar mantenimiento del sistema.
- El montaje del sistema sería también una desventaja ya que sería necesario incluir una parte civil dentro de la cama de cadenas, por lo que para la implementación es necesario realizar por fases en las cuales se debería parar la producción en varias ocasiones. Al momento de agregar una parte civil en el montaje esto conlleva a elevar considerablemente su costo de implementación.
- La precisión del sistema se encuentra afectada directamente por el control de los motores en la cama de cadenas, donde se debería agregar un costo adicional para aumentar la precisión de la misma, además de manipular el programa de control lo cual no es muy conveniente.

3.1.1.2 Sistemas por posicionamiento lineal

El Sistema de Posicionamiento Lineal (SPL) es un sistema de control realimentado o de lazo cerrado el cual tiene como objetivo mover automáticamente a un dispositivo o instrumento sobre una trayectoria recta hacia un punto de referencia dado por el usuario, la dinámica transitoria debe cumplir con ciertas características de desempeño; como tiempo de subida, tiempo de estabilización, porcentaje de sobreimpulso, etc., que en situaciones prácticas son impuestas por una aplicación específica. Para nuestro propósito este sistema se basa en posicionar en un eje horizontal debajo del manto de cadenas una uña recta, la cual tiene la función de separar las varillas, la figura 3.4 muestra el esquema de este tipo de sistema SPL.

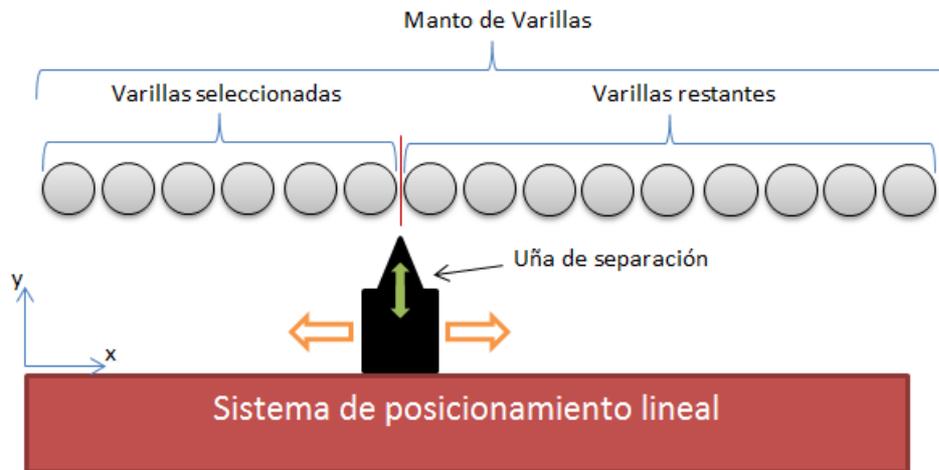


Figura 3.4 Esquema Sistema Separador por posicionamiento lineal.²⁷

Existen algunos mecanismos para lograr el posicionamiento lineal, los cuales ofrecen la precisión requerida para el sistema a ser diseñado. A continuación se va a entrar en detalle sobre algunos de ellos que cumplen especificaciones técnicas para el diseño del separador.

3.1.1.2.1 Tornillo de potencia (husillo de bolas)



Figura 3.5 Tornillo de Bola²⁸

La figura 3.5 muestra la fotografía de un tornillo de bolas, trata de un eje roscado proporciona un camino de rodadura helicoidal a unos rodamientos de bolas que actúan como un tornillo de precisión. Como el movimiento se realiza por rotación, no por

²⁷ Fuente Propia

²⁸ Fuente Propia

deslizamiento, el rozamientos es menor, la fricción del conjunto es baja. Y como el esfuerzo se reparte entre varias bolas es ser capaz de aplicar o resistir altas cargas de empuje. Se pueden fabrican con unas tolerancias estrechas y por tanto son adecuados para su empleo donde se necesita una alta precisión. El conjunto de bolas actúa como la tuerca mientras el eje roscado es el tornillo. En contraste con los husillos convencionales, los husillos a bolas tienden a ser bastante voluminoso, debido a la necesidad de disponer un espacio en el mecanismo para recircular las bolas. La figura 3.6 muestra un esquema del interior de un tornillo de bolas.

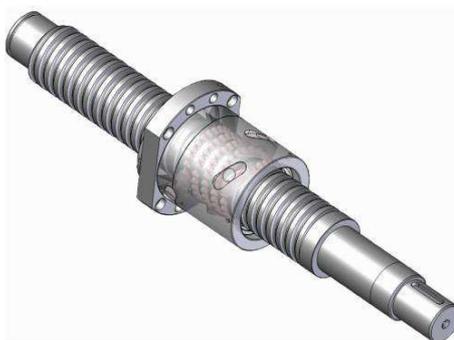


Figura 3.6 Interior Tonillo de Bola.²⁹

Para mantener su precisión inherente y garantizar una larga vida útil, se necesita tener gran cuidado para evitar la contaminación con polvo y partículas abrasivas. Esto se puede lograr mediante el uso fuelles de caucho o cuero para encerrar completamente o parcialmente las superficies de trabajo. Otra solución es insuflar aire filtrado a una presión positiva cuando se utilizan en un recinto cerrado o semi-abierto.

Aunque afecta a la reducción de la fricción, los husillos de bola pueden operar con cierta precarga, eliminando efectivamente la holgura entre la entrada (rotación) y la salida (movimiento lineal). Esta característica es esencial cuando se utilizan en sistemas con movimientos controlados por ordenador, por ejemplo, máquinas

²⁹ Fuente Propia

herramientas CNC y aplicaciones de alta precisión de movimiento (por ejemplo, uniones del tipo wire bonding).

La baja fricción de los husillos de bolas se traduce en una alta eficiencia mecánica en comparación con otras alternativas. Un husillo de bolas usuales puede alcanzar una eficiencia del 90%, en comparación con el 50% de un husillo ACME de igual tamaño. La falta de fricción de deslizamiento entre la tuerca y el tornillo permite una larga vida útil del conjunto del husillo (especialmente en los sistemas sin holgura), la reducción de los tiempos entre mantenimiento y sustitución de piezas y a la disminución de las necesidades de lubricación. Esto, combinado con la mejora del rendimiento global y la reducción del consumo energético pueden permitir compensar los mayores costes de adquisición de los husillos a bolas.

Dependiendo de su ángulo de avance, los husillos de bolas puede retroceder debido a su bajo rozamiento interno (es decir, el eje del husillo puede ser accionado linealmente y hacer girar la tuerca de bola). Por lo general son indeseables para las máquinas herramientas operadas a mano, como se requiere rigidez en el servomotor para mantener el cortador de agarrar el trabajo y la alimentación propia, es decir, donde el cortador y la pieza de trabajo a la velocidad superior de avance óptimo y eficaz atasco o accidente juntos, arruinando el cortador y la pieza de trabajo.

Ventajas:

- Sencillez de su estructura.
- Alta relación de transmisión.
- Mayor ventaja mecánica con el objeto.
- Auto frenado y Auto bloqueo.
- Ejerce fuerzas de gran magnitud.

- Obtiene un posicionamiento preciso de un movimiento axial.
- Posibilidad de fabricación con gran exactitud del paso.
- Puede emplearse en motores con pares de arranque pequeños.
- Posee una eficiencia elevada.
- Facilidad y precisión en el posicionamiento.
- Facilidad de precargado sin aumento sensible del rozamiento.

Desventajas:

- Requieren una buena lubricación.
- Cuando el sistema está colocado en posición vertical, debido a la alta eficiencia, la carga tiende a bajar por si sola. Esto hace que sea necesario instalar un freno externo.
- La entrada de elementos abrasivos puede reducir la vida del husillo.
- En las mismas condiciones de carga que en un tornillo de potencia, presenta una menor rigidez.
- Debido a la alta eficiencia, su carga tiende a bajar por sí misma. Por tanto si se requiere de sistema auto-trabado será necesario instalar un freno externo.
- La inclusión de basura o materias extrañas pueden reducir o terminar con la vida del husillo.
- Debido a que la capacidad de transportar carga de un husillo de bolas es mayor que la de un husillo trapezoidal de tamaño equivalente éste no es tan rígido como el husillo trapezoidal común por lo que la deflexión y la velocidad crítica pueden ser unos factores muy importantes a tener

3.1.1.2.2 Sistema lineal por correa

Un sistema de transmisión por correa es un conjunto de dos poleas acopladas por medio de una correa con el fin de transmitir fuerzas y velocidades angulares entre árboles paralelos que se encuentran a una cierta distancia, la figura 3.7 muestra un esquema del sistema por correa.

La fuerza se transmite por efecto del rozamiento que ejerce la correa sobre la polea, o por dientes que se encuentran tanto en el piñón como en la correa.

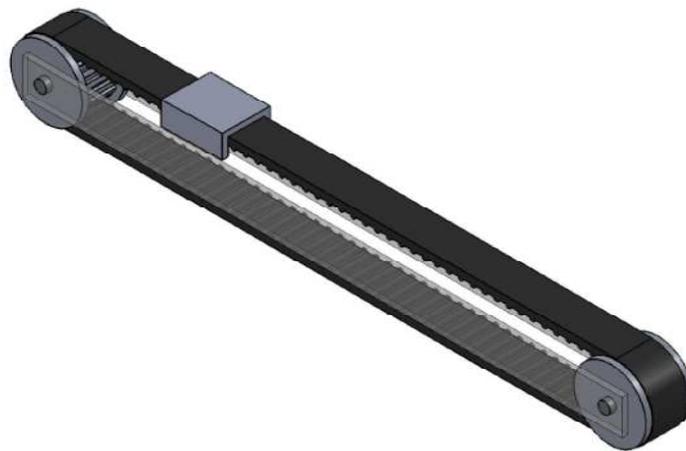


Figura 3.7 Sistema Lineal por Correa.³⁰

Se utilizan en transmisión de potencia mecánica a distancias relativamente grandes y como sistema de transporte (cintas transportadoras).

Ventajas:

- Pueden operar a altas velocidades de rotación.
- Funcionamiento suave, silencioso y sin choques: absorben cargas de choque y vibraciones, esto alarga la vida de los componentes de la máquina.
- Protege de sobrecargas al limitar la carga transmitida (rozamiento). Se usan como fusible mecánico.

³⁰ Fuente Propia

- Funcionamiento aceptable con polvo y humedad. Son limpias y no requieren lubricación ni mantenimiento.
- Transmiten altas cargas.
- Bajo ruido.
- No necesitan lubricación.
- Menor mantenimiento.
- Los dientes de caucho absorben impactos en los arranques y/o paradas.
- Gran sincronismo en la marcha.
- Alto rendimiento: del 92 al 99%.
- Alta densidad de transmisión de potencia: transmiten altas potencias con un tamaño compacto.

Desventajas:

- La potencia a transmitir está limitada por:
 - Rozamiento entre la correa y la garganta de la polea.
 - Tipo de correa.
- Vida útil relativamente baja. Longevidad baja.
- Existe peligro de deslizamiento.
- La relación de transmisión no es exacta ni constante, depende del deslizamiento elástico y del esfuerzo transmitido (en correas no sincronizadoras).
- Grandes dimensiones exteriores.
- Exige un determinado ambiente de trabajo:
 - No admite suciedad, polvo, grasa, aceite o humedad.
 - No admite temperaturas altas.
- Desgaste y envejecimiento. Pérdida de elasticidad.
- Grandes cargas sobre árboles y apoyos.

- La tensión total en una correa sincronizadora se incrementa al aumentar el par a transmitir debido a la interacción entre los dientes.
- Requieren mayor precisión de montaje que las correas trapezoidales (alineación de poleas) pero menor que los engranajes.

3.1.1.2.3 Sistema piñón – cremallera

El mecanismo de piñón y cremallera permite transformar el movimiento circular en rectilíneo alternativo. También a la inversa: puede transformar el movimiento rectilíneo en movimiento circular, aunque es más habitual encontrar aplicaciones del primer tipo, la figura 3.8 muestra un esquema del sistema piñón -cremallera

El mecanismo de cremallera aplicado a los engranajes lo constituyen una barra con dientes la cual es considerada como un engranaje de diámetro infinito y un engranaje de diente recto de menor diámetro, y sirve para transformar un movimiento de rotación del piñón en un movimiento lineal de la cremallera. La figura 3.9 muestra el funcionamiento de este sistema.

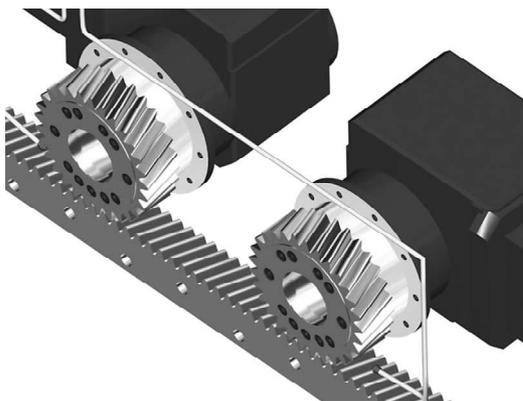


Figura 3.8 Sistema Piñón Cremallera³¹

³¹ Fuente Propia

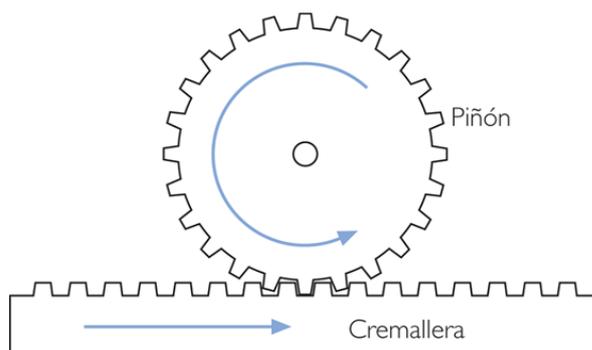


Figura 3.9 Funcionamiento Mecanismo Piñón Cremallera³²

Ventajas:

- Permite convertir un movimiento giratorio en uno lineal continuo, o viceversa.
- Aunque el sistema es perfectamente reversible, su utilidad práctica suele centrarse solamente en la conversión de giratorio en lineal continuo.
- Capaces de resistir grandes cargas sin deformaciones excesivas.
- Sistemas robustos integrados con su bancada propia.
- Buena eficiencia de transmisión mecánica.
- Presentan buena precisión en el desplazamiento lineal.

Desventajas:

- Para asegurar que los sistemas de piñón-cremallera logren la precisión deseada es necesaria para su manufactura, máquinas de alta precisión.
- Elementos muy sensibles los cuales mantenimiento continuo, y mayor si es el caso de ambientes industriales hostiles (suciedad, polvo, grasa, etc.).
- Sensibles a las vibraciones, provocan que el sistema se desequilibre fácilmente.
- Necesaria una buena lubricación constante.
- Mayor desgaste por su área de contacto.

³² Fuente Propia

- Para su diseño es necesario un mayor factor de seguridad.
- Para aplicaciones ligeras y donde las cargas sean pequeñas es posible emplear materiales plásticos.
- Sistemas muy cerrados por lo que su adaptabilidad es baja.
- Requiere mayor precisión para su montaje.
- Baja disponibilidad en el mercado.
- Precios muy altos para sistemas integrados.

3.1.1.3 Actuador de giro (motor)

Un motor es la parte de una máquina capaz de hacer funcionar algo transformando algún tipo de energía (eléctrica, de combustibles fósiles, etc.), en energía mecánica capaz de realizar un trabajo.

Las características generales que presentan los motores son:

- Rendimiento: es el cociente entre la potencia útil que generan y la potencia absorbida. Habitualmente se representa con la letra griega η .
- Velocidad de poco giro o velocidad nominal: es la velocidad angular del cigüeñal, es decir, el número de revoluciones por minuto (rpm o RPM) a las que gira. Se representa por la letra n .
- Potencia: es el trabajo que el motor es capaz de realizar en la unidad de tiempo a una determinada velocidad de giro.
- Par motor: es el momento de rotación que actúa sobre el eje del motor y determina su giro.

Para el sistema separador es necesaria la precisión para realizar este movimiento, los motores que ofrecen esta característica en especial son los eléctricos, por lo tanto las opciones que se pueden manejar son detalladas a continuación:

3.1.1.3.1 Motores a pasos.

Los motores de paso a paso son motores que se utilizan industrialmente en aplicaciones donde se requiere mayor precisión en controlar el torque. La figura 3.10 muestra una fotografía de un motor a pasos.



Figura. 3.10. Motor Paso a Paso.³³

Este tipo de motores están constituidos por un estator en el cual están montadas varias bobinas excitadoras, y un rotor constituido por varios imanes permanentes, la reacción de ambos campos produce el movimiento, como se observa en la figura 3.11.

³³<http://solomantenimiento.blogspot.com/>, Mantenimiento de Motores Paso a Paso , Español.

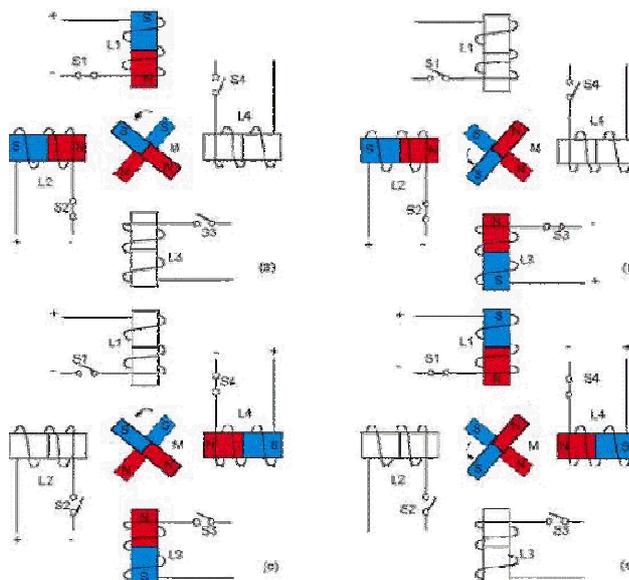


Figura 3.11. Diagrama de funcionamiento de un Motor Paso a Paso.³⁴

Generalmente mediante un controlador digital se maneja el movimiento de dicho motor, el cual envía pulsos en donde cada pulso representa un movimiento del rotor. El rotor de imán permanente es el que reacciona y produce el movimiento después de la excitación ordenada de las bobinas.

Ventajas.

- Buena precisión.
- Buena repetitividad.
- Drivers o controladores económicos y alcance del mercado nacional.
- Bajo consumo de energía.
- Control en lazo abierto.
- Disponibilidad en el mercado nacional.

³⁴<http://www.iesleonardo.info/ele/pro/CURSO%202002-2003/Juan%20Carlos%20de%20Pedro%20Ramos/motores%20paso%20a%20paso.htm>, Parámetros de motores PAP, Español

Desventajas.

- Alto consumo de energía en estado estático en determinada posición.
- No se puede realizar control de torque.
- Vibración excesiva.
- Bajo torque.
- Alto consumo de energía a velocidades muy bajas.
- Control de velocidad con poca exactitud.

3.1.1.3.2 Servomotores.

Un servomotor como un actuador giratorio es tecnología nueva para el país y actualmente se los utiliza en máquinas CNC, bandas transportadoras, sincronización de equipos de movimiento, entre otros.

Existen varios tipos de servomotores de acuerdo a sus componentes y a su forma de funcionamiento, en este proyecto se enfocará a los servomotores Brushless de imán permanente por cumplir los requerimientos de control de velocidad, torque y posición.

Este tipo de motores son sincrónicos es decir la velocidad de rotación del motor es igual a la frecuencia de alimentación. En dicho actuador, se deben destacar dos características importantes, como la precisión en el control de posición y velocidad.

Los elementos principales de un servomotor son: un estator con bobinado trifásico y un rotor que posee imanes permanentes que se encuentran fijos. Cuando la corriente circula a través de los electroimanes del estator, se produce un campo magnético, este campo interseca con el ángulo correcto al campo magnético producido por los imanes del rotor, generando torque y por ende el movimiento de su eje. La figura 3.12 muestra los componentes de un servo motor bifásico.

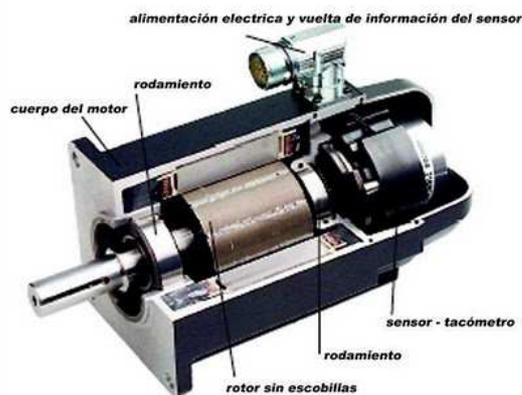


Figura 3.12. Servo-motor bifásico.³⁵

Una de las características a destacar de un servo-motor es que puede tener un torque constante a velocidad nominal, con lo que se garantiza un torque específico a una velocidad específica, dichos parámetros es un requerimiento para el diseño.

Así como el control de velocidad y posición se lo puede realizar en lazo cerrado. De igual manera que un motor paso a paso el servomotor necesita de un driver para ser manejado y controlado, dicho driver difiere dependiendo del fabricante del servomotor.

Ventajas.

- Las ventajas del servo-motor hacia el sistema son:
- Control en lazo cerrado de posición, velocidad y torque.
- Bajo consumo de energía.
- Bajas vibraciones.
- Costo moderado.
- Fácil manejo.
- Se puede obtener torque nominal a velocidad máxima, así como mantener el torque a velocidades altas así como en bajas.

³⁵ <http://sectec623a-david.blogspot.com/>, Motores de corriente continua, Español.

Desventajas.

- Las desventajas del servo-motor hacia el sistema son:
- Tamaño mayor al de un Motor Paso a Paso.
- No disponibilidad en el mercado nacional.
- Escases de repuestos.

3.1.1.4 Actuador lineal

Un actuador es un dispositivo capaz de transformar energía hidráulica, neumática o eléctrica en la activación de un proceso con la finalidad de generar un efecto sobre un proceso automatizado. Este recibe la orden de un regulador o controlador y en función a ella genera la orden para activar un elemento final de control como, por ejemplo, un pistón.

Los actuadores hidráulicos, neumáticos y eléctricos son usados para manejar aparatos mecatrónicos. Por lo general, los actuadores hidráulicos se emplean cuando lo que se necesita es potencia, y los neumáticos son simples posicionamientos. Sin embargo, los hidráulicos requieren mucho equipo para suministro de energía, así como de mantenimiento periódico. Por otro lado, las aplicaciones de los modelos neumáticos también son limitadas desde el punto de vista de precisión y mantenimiento.

Para la separación de varillas se necesitan las siguientes características técnicas:

- Robustez: el actuador debe resistir las cargas axiales, fatiga y ambiente de trabajo a la que se exponga el sistema separador.
- Control de Posición: para el proceso de separación se necesita que el actuador se encuentre en 2 estados: abierto o cerrado.

- Velocidad de acción: esta no debe ser muy alta para evitar el impacto entre actuador y varilla, por lo que debe tener la característica de poder regular la velocidad de acción.

Entre los actuadores lineales que cumplen estos requisitos se encuentran los siguientes que se van a detallar a continuación:

3.1.1.4.1 Actuador neumático (pistón o cilindro)

Cilindros neumáticos sea dispositivos mecánicos cuáles producen fuerza, a menudo conjuntamente con movimiento, y se accionan cerca gas comprimido (típicamente aire), la figura 3.13 muestra una fotografía de un cilindro neumático.



Figura 3.13. Cilindro Neumático.³⁶

Para realizar su función, los cilindros neumáticos imparten a fuerza por el convertir energía potencial de gas comprimido en energía cinética.

Esto es alcanzada por el gas comprimido que puede ampliarse, sin entrada de energía externa, que sí mismo ocurre debido al gradiente de la presión estableció por el gas comprimido que estaba en un mayor presión que presión atmosférica. Esta extensión del aire fuerza a pistón para moverse en la dirección deseada.

³⁶ <http://neumatica-es.timmer-pneumatik.de/artikel/ISO-Zugstangenzyylinder/zugstangenzyylinder-8.html>, ISO-cilindro con barra de tracción, Español

El cilindro es una pieza hecha con metal fuerte porque debe soportar a lo largo de su vida útil un trabajo a alta temperatura con explosiones constante de combustible, lo que lo somete a un trabajo excesivo bajo condiciones extremas.

Ventajas:

- Su base de funcionamiento es el aire, el cual es totalmente ilimitado y gratuito.
- Para almacenar y comprimir para que se transporte a cualquier lugar.
- No es inflamable.
- No le afectan mucho las temperaturas.
- Al tener una falla en el funcionamiento en el cual existen fugas, este no causa ningún problema más que la pérdida de energía.
- No ensucia y perjudica a mayor escala.
- Se puede sobrecargar de trabajo a los elementos neumáticos al punto total sin que se produzcan riesgos.
- Su velocidad de aplicación es muy elevada y fácil de regular, dependiendo las preferencias del trabajo.

Desventajas:

- El aire comprimido es difícil de preparar y obtener.
- El proceso de compresión del aire es costoso y lo torna una fuente de energía cara.
- En su aplicación, los molestos ruidos ocasionados por la interacción del aire.

3.1.1.4.2 Actuador hidráulico (cilindros)

Los cilindros hidráulicos (también llamados motores hidráulicos lineales) son actuadores mecánicos que son usados para dar una fuerza a través de un recorrido lineal.

La figura 3.14 muestra una fotografía de un cilindro hidráulico.



Figura 3.14. Cilindro Hidráulico.³⁷

Los cilindros hidráulicos obtienen la energía de un fluido hidráulico presurizado, que es típicamente algún tipo de aceite.

Esto es, convierten la energía hidráulica en energía mecánica para ejecutar un trabajo útil. Son empleados cuando la fuerza a desarrollar es importante y un cilindro neumático no puede lograrla, asimismo por la característica del fluido (aceite) se logra un control de la velocidad muy preciso.

Ventajas:

- Su base de funcionamiento son los líquidos, en su mejor ventaja, flexibles, pues se adaptan a cualquier forma que se les ponga en el camino.
- Son tan potentes como una barra de acero.
- Los elementos hidráulicos son reversibles y su función se puede frenar en marcha.

³⁷ <http://mimolly.blogia.com/2008/030301-cilindros-hidraulicos-milwaukee-cylinder-.php>, Cilindros Hidráulicos, Español

- Las fuerzas pueden ser reguladas fácilmente y su simplicidad en elementos es bastante fiable.

Desventajas:

- La poca limpieza en el manejo de aceites y otros líquidos, pues cualquier fuga o derrame, ocasiona desastres en cuanto a higiene.
- Las velocidades de los circuitos hidráulicos son bajas.
- Su buen funcionamiento exige un buen mantenimiento, lo que hace a este medio bastante costoso.

3.1.1.4.3 Actuador lineal eléctrico

El sistema del actuador lineal posee la característica de retroalimentación ya sea a través de un encoder, potenciómetro lineal o cualquier tipo de sensor que proporcione una señal analógica de la posición relativa del vástago del actuador y por ende de la herramienta de sujeción, esto para realizar el control de posición de la herramienta según los requerimientos para cada ensayo. La figura 3.15 muestra un esquema de este actuador.



Figura 3.15. Actuador Lineal Eléctrico.³⁸

³⁸ <http://www.directindustry.es/prod/edrive-design/actuadores-electricos-lineales-de-husillo-de-bolas-para-cargas-pesadas-17414-354093.html>, Actuadores Lineales Eléctricos, Español

Ventajas:

- Peso bajo.
- Sistema de transmisión de potencia armado y acoplado.
- Fácil instalación.
- Velocidad constante.
- Sistema sin pérdidas de aceite.
- Posicionamiento exacto (milimétrico), a través de sensores de posición.
- Trabajo ergonómico en compresión y tensión.
- Auto-bloqueo de la carga sin necesidad del funcionamiento del equipo.

Desventajas:

- Equipo no disponible en el mercado nacional.
- Elevado costo, por característica de retroalimentación para control de posición.
- Difícil mantenimiento de elementos internos del equipo.
- Por falla de algún elemento interno, el equipo como tal debe ser reemplazado.
- Fallo del tornillo de potencia por un diente muy pequeño, necesario para el posicionamiento milimétrico del actuador.
- Ciclo útil del motor a carga máxima alrededor del 25%.

3.1.2 ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS.

De acuerdo con el estudio e investigación de las alternativas de los sistemas separadores (sistema de posicionamiento lineal, actuador de giro y actuador lineal), se ha llegado a formar las matrices de selección (Tabla 3.1, Tabla 3.2 y Tabla 3.3) para el desarrollo del diseño del sistema de separador de varillas, el cual servirá para ayudar a la selección del diseño más óptimo, partimos de parámetros establecidos por nosotros,

basados en satisfacer la necesidad de la empresa. Para la escala de selección de la matriz tenemos los siguientes valores del 1 al 10, siendo 10 el valor más alto y conveniente.

| SISTEMAS SEPARADORES | | | | |
|-------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------------|------------------|
| <i>SISTEMA</i> | SISTEMA UÑAS CURVAS | TONILLO DE POTENCIA | SISTEMA LINEAL POR CORREA | PIÑÓN CREMALLERA |
| <i>CARACTERÍSTICAS</i> | | | | |
| Costo implementación | 6 | 8 | 7 | 7 |
| Disponibilidad | 9 | 9 | 8 | 7 |
| Espacio Montaje | 6 | 9 | 8 | 8 |
| Robustez | 7 | 9 | 6 | 9 |
| Tecnología actual | 7 | 9 | 8 | 8 |
| Mantenimiento | 6 | 10 | 8 | 7 |
| Facilidad repuestos | 8 | 9 | 7 | 6 |
| Precisión | 8 | 10 | 9 | 10 |
| Adaptabilidad | 6 | 9 | 8 | 9 |
| Asesoría técnica | 6 | 7 | 7 | 7 |
| <i>TOTAL</i> | 69 | 89 | 76 | 78 |

Tabla 3.1 Tabla de análisis y selección de alternativas ³⁹

| MOTORES ELÉCTRICOS | | |
|-------------------------------|---------------|------------|
| <i>SISTEMA</i> | MOTOR A PASOS | SERVOMOTOR |
| <i>CARACTERÍSTICAS</i> | | |
| Precisión | 7 | 10 |
| Control de variables | 7 | 10 |
| Costo | 9 | 7 |
| Bajas Vibraciones | 8 | 8 |
| Disponibilidad | 7 | 7 |
| <i>TOTAL</i> | 38 | 42 |

Tabla 3.2 Tabla de análisis y selección de alternativas ⁴⁰

³⁹ Fuente Propia

⁴⁰ Fuente Propia

| ACTUADORES LINEALES | | | |
|----------------------------|---------------------------|----------------------------|----------------------------------|
| SISTEMA | Cilindro Neumático | Cilindro Hidráulico | Actuador Lineal Eléctrico |
| CARACTERÍSTICAS | | | |
| Fuente de Energía | 9 | 8 | 10 |
| Robustez | 8 | 9 | 7 |
| Mantenimiento | 9 | 6 | 7 |
| Costo | 8 | 7 | 5 |
| Montaje | 9 | 6 | 9 |
| Disponibilidad | 9 | 7 | 6 |
| TOTAL | 52 | 43 | 44 |

Tabla 3.3 Tabla de análisis y selección de alternativas ⁴¹

Por lo tanto para el sistema separador se va a utilizar los siguientes elementos, por motivos de las ventajas que ofrecen para su implementación en el sistema:

| SISTEMA SEPARADOR DE VARILLAS | | |
|--------------------------------------|---------------------------------|----------------|
| Componentes | Selección | Puntaje |
| Sistema de Posicionamiento Lineal | Tornillo de Potencia (de Bolas) | 89/100 |
| Actuador de Giro | Servomotor | 42/50 |
| Actuador Lineal | Cilindro Neumático | 52/60 |

Tabla 3.4 Tabla de componentes para Sistema Separador ⁴²

3.1.3 MÉTODO DE DISEÑO

Para el sistema separador se lo va a diseñar en base a un sistema lineal de tornillo de potencia por las características que ofrecen los elementos, por lo tanto se debe seguir la siguiente metodología para el diseño del sistema separador:

1. Factor de seguridad.
2. Tornillo de Potencia (de Bolas).

⁴¹ Fuente Propia

⁴² Fuente Propia

- a. Parámetros de diseño.
 - i. Diseño por Carga axial.
 - ii. Diseño por Flexión.
 - iii. Diseño por Fatiga.
 - b. Selección según estándares ISO (Rosca ACME).
 - c. Diseño según estándar DIN 69051 (Husillo de bolas).
3. Servomotor.
 4. Cilindro Neumático.
 - a. Parámetros de diseño.
 - i. Diseño por Carga axial.
 - ii. Diseño por Flexión.
 - iii. Diseño por Fatiga.
 - b. Selección según estándares ISO 21287.

3.1.4 FACTOR DE SEGURIDAD

El coeficiente de seguridad (también conocido como factor de seguridad) es el cociente entre el valor calculado de la capacidad máxima de un sistema y el valor del requerimiento esperado real a que se verá sometido. Por este motivo es un número mayor que uno, que indica la capacidad en exceso que tiene el sistema por sobre sus requerimientos.

En los cálculos de resistencia mecánica, el factor de seguridad se aplica principalmente de dos maneras:

1. Multiplicando el valor de las solicitaciones o fuerzas que actúan sobre un elemento resistente por un coeficiente mayor a uno (coeficiente de mayoración).

En este caso se calcula como si el sistema fuera solicitado en mayor medida de lo que se espera que lo sea en la realidad.

2. Dividiendo las propiedades favorables del material que determinan el diseño por un número mayor que uno (coeficiente de minoración). En este caso se modela el material como si fuera peor de lo que se espera que sea.

En ambos casos el resultado es el mismo: un sobredimensionamiento del componente.

Este sobredimensionamiento se justifica por variadas causas, como por ejemplo: previsiones de desgaste o corrosión, posibles errores o desviaciones en las propiedades previstas de los materiales que se manejan, diferencias entre las propiedades tabuladas y las obtenibles en la realidad, tolerancias de fabricación o montaje, tolerancias por incertidumbre en las solicitaciones a que se someterá el elemento, la propia incertidumbre del método de cálculo, etc.

Los valores usados como factores de seguridad, por lo general, provienen de la experiencia empírica o práctica, por lo cual están tabulados y contemplados en las normas o la literatura, o bien se aplican según la experiencia personal del diseñador. En general, para el mismo tipo de elemento dependerán del tipo de uso o servicio que se le piense dar y de la posibilidad de riesgo derivada para usuarios y terceras personas. Por ejemplo, para una máquina de uso continuo se usará un factor de seguridad mayor que para una de uso esporádico.⁴³

3.1.5 DISEÑO DEL TORNILLO POR CARGA AXIAL.

Se debe tomar en cuenta las fuerzas que van a actuar sobre el tornillo de potencia, siendo estas las siguientes:

⁴³ http://es.wikipedia.org/wiki/Coeficiente_de_seguridad, Coeficiente de seguridad, Español

- Fuerza ejercida por las varillas acumuladas. Para este proyecto se tomaran en cuenta las varillas de mayor diámetro, las de 32mm de diámetro, ver tabla 1.1 del capítulo 1.
- Fuerza de fricción.
- Peso, sometido a una carga axial de 800 N⁴⁴.

La figura 3.16 muestra el diagrama de cuerpo libre del sistema separador.



Figura 3.16. Diagrama de Cuerpo Libre en Sistema Separador.⁴⁵

Una vez obtenido el valor de la Fuerza Máxima debemos elegir el diámetro del tornillo de potencia. Siendo el Acero AISI 1050 el material más usado en tornillos de potencia obtenemos de dato que el Límite de Fluencia es de 345 (MPa)⁴⁶.

El factor de seguridad para el proyecto es del 5.⁴⁷

Usando la fórmula 3.1 de Factor de seguridad

⁴⁴ 800N = Peso de 1 varilla de diámetro de 32 mm (varilla más pesada que se produce actualmente).

⁴⁵ Fuente Propia

⁴⁶ Diseño e implementación de un sistema modular y reconfigurable para el control de calidad de Zippers, Tesis, Ing. Mct., Espe, 2012

⁴⁷ Dato de referencia por el Departamento de Maestría de ANDEC

$$FS = \frac{\sigma_{fluencia}}{\frac{W_t}{A_t}}$$

Dónde:

- FS, Factor de seguridad.
- σ , Límite de fluencia del material seleccionado.
- W_t , Carga crítica Fuerza Máxima.
- A_t , Área de esfuerzo a tensión. 48

Fórmula 3.1 Factor de seguridad

De la fórmula 3.2 obtenemos:

$$5 \leq \frac{\sigma_{fluencia}}{\frac{W_t}{A_t}} \rightarrow A_t \geq \frac{5 \cdot W_t}{\sigma_{fluencia}}$$

Fórmula 3.2 Área de Esfuerzo a Tensión

Reemplazando los valores obtenemos que el Área de esfuerzo a tensión es del = **11,59 mm²**.

Con el dato calculado buscamos en la tabla 3.5 Dimensiones de Roscas ACME-American Standard.

| Diámetro mayor nominal | Hilos por 25.4 mm | Paso de rosca | Diámetro menor mínimo | Diámetro mínimo de paso | Área al esfuerzo de tensión | Área al esfuerzo cortante |
|------------------------|-------------------|---------------|-----------------------|-------------------------|-----------------------------|---------------------------|
| D (mm) | n | p=1/n | Dt (mm) | Dp (mm) | At (mm ²) | As (mm ²) |
| 6.35 | 16.00 | 1.59 | 4.11 | 5.19 | 16.97 | 216.45 |
| 7.94 | 14.00 | 1.81 | 5.44 | 6.64 | 28.65 | 280.26 |
| 9.53 | 12.00 | 2.12 | 6.69 | 8.03 | 42.52 | 340.39 |
| 11.11 | 12.00 | 2.12 | 8.26 | 9.61 | 62.71 | 412.64 |
| 12.70 | 10.00 | 2.54 | 9.13 | 10.94 | 79.03 | 469.55 |

⁴⁸ Diseño e implementación de un sistema modular y reconfigurable para el control de calidad de Zippers, Tesis, Ing. Mct., Espe, 2012, p 132

| (CONTINUACIÓN) | | | | | | |
|----------------|------|------|-------|-------|--------|---------|
| 15.88 | 8.00 | 3.18 | 11.61 | 13.74 | 126.13 | 592.26 |
| 19.05 | 6.00 | 4.23 | 13.64 | 16.32 | 176.26 | 6993.53 |

Tabla 3.5 Dimensiones de Roscas-ACME American Standard⁴⁹

Por lo tanto el diámetro nominal del tornillo de potencia usado es el de 6.35 mm.

3.1.6 DISEÑO DEL TORNILLO POR FLEXIÓN.

El tornillo al ser un elemento que soportara las cargas del actuador sobre el soporte y varios accesorios de acoplamiento se lo debe considerar como una varilla redonda de diámetro constante, el cual estará sometido a flexión pura.

$$\sigma = \frac{Mc}{I}$$

Fórmula 3.3. Esfuerzo a Flexión.

Dónde:

- σ , Esfuerzo a flexión.
- M , Momento Flector.
- c , Distancia del eje neutro al punto de análisis.
- I , Inercia.⁵⁰

Se debe, igualmente, contar con un factor de seguridad para el esfuerzo de flexión. Este factor igualmente será de 5.

El tornillo, al ser un elemento de sección circular (consideración para la aplicación), se obtiene que la inercia sea:

⁴⁹ ROBERT L. NORTON., Diseños de máquinas. Pearson, 1999. p 898

⁵⁰ SHIGLEY J. Diseño e ingeniería Mecánica. Ed, Mc Graw-Hill, 2002. p 114

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

Fórmula 3.4 Inercia de un elemento circular.

La distancia c , se la debe orientar a la fibra extrema del círculo, donde se obtiene:

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

Fórmula 3.5 Distancia al extremo a analizar.

Reemplazando las fórmulas 3.4 y 3.5, y tomando en cuenta que este esfuerzo debe ser menor al esfuerzo admisible por el material obtenemos que:

$$\frac{32M}{\pi d^3} \leq \sigma_{adm}$$

Y si reemplazamos el esfuerzo admisible por su equivalente en factor de seguridad,

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

Fórmula 3.6 Esfuerzo Admisible

Dónde:

S_y , Esfuerzo de fluencia

n , Factor de seguridad

Se obtiene que el diámetro mínimo de tornillo de potencia se calculada con la fórmula 3.7

$$d = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot M \cdot n}{\pi \cdot S_y}}$$

Fórmula 3.7 Diámetro min del tornillo de potencia.

Debemos calcular el Momento flector M, para este cálculo, se usara el programa MDSolids, el cual nos dará el diagrama del momento flector sobre el tornillo. Tomando en cuenta las siguientes consideraciones:

- Fuerza sobre el tornillos de potencia= 200 [N]
- Fuerza puntual en el medio de la distancia efectiva del tornillo.
- Los puntos de apoyo del tornillo son 2, con lo cual la fuerza debe dividirse para 2.

3.1.6.1 Diagramas de MDSolids

La disposición de la carga se la considera como puntual y que actúa en el punto medio de la longitud hábil del tornillo, que es el punto más crítico, como se indica en la figura 3.17.

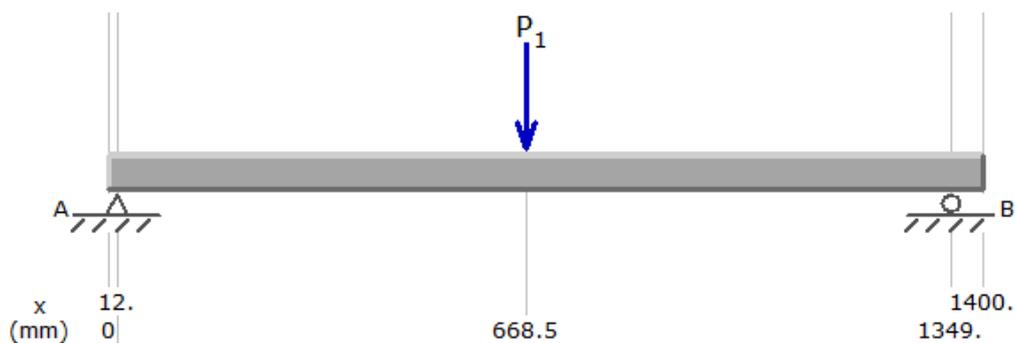


Figura 3.17 Diagrama de Cargas. ⁵¹

⁵¹ Fuente Propia

Gracias a la disposición de cargas y al programa MDSolids®, se obtiene el diagrama de corte que se muestra en la figura 3.17 y el diagrama de momentos flectores que se muestra en la figura 3.18.

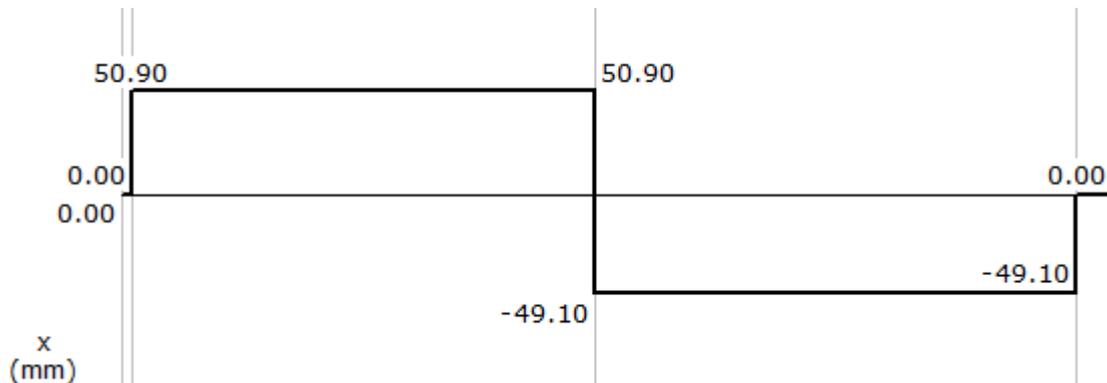


Figura 3.18 Diagrama de Corte.⁵²

El diagrama de momentos flectores (figura 3.19).

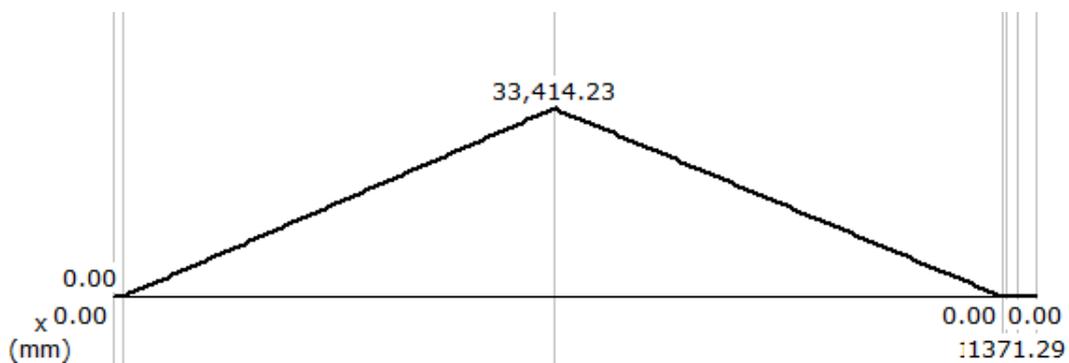


Figura 3.19 Diagrama de Momento Flector.⁵³

Del diagrama de momento flector, se tiene que el máximo valor es de 33 414,23 [Nmm].

Reemplazando los valores en la fórmula 3.7 obtenemos que el Diámetro del tornillo de potencia es = **17,02 [mm]**

⁵² Fuente Propia

⁵³ Fuente Propia

3.1.7 DISEÑO DEL TORNILLO POR FATIGA

El tornillo al ser un elemento rotatorio, el punto de aplicación de la fuerza se encuentra en constante movimiento por lo que se hace necesario su análisis por fatiga.

Siendo la fórmula siguiente el valor del diámetro del tornillo de potencia:

$$d = \sqrt[3]{\frac{n(32 \cdot M \cdot S_e + 16 \cdot T \cdot S_y)}{\pi \cdot S_y \cdot S_e}}$$

Fórmula 3.8 Diámetro por fatiga

De donde la expresión para el límite a la fatiga S_e , esta dado por:

$$S_e = k_a k_b k_c k_d k_e S'_e{}^{54}$$

Dónde:

- k_a , Factor de modificación de la condición superficial del material.
- k_b , Factor de modificación del tamaño.
- k_c , Factor de modificación de la carga.
- k_d , Factor de modificación de la temperatura.
- k_e , Factor de modificación de efectos varios.
- S'_e , Límite a la fatiga en viga rotatoria.

Fórmula 3.9 Limite a la fatiga

Los valores de los factores se obtienen de la siguiente forma:

$${}^{55}k_a = a S_{ut}{}^b$$

⁵⁴ Idem, p 379.

⁵⁵ Idem, p 379.

$${}^{56}k_b = \begin{cases} \left(\frac{d}{7,62}\right)^{-0.107} = 1,24d^{-0.107} & 2,79 \leq d \leq 51 \text{ (mm)} \\ 0,859 - 0,000837d & 51 \leq d \leq 254 \text{ (mm)} \end{cases}$$

- El factor k_c es igual a 0,6.
- El factor k_d es igual a 1 ya que se tomó como un elemento isotrópico.
- El factor k_e depende de varios factores, en el presente proyecto lo consideramos igual a 1.
- El límite a la fatiga enviga rotatoria S'_e se obtiene a través de la siguiente relación:

$${}^{57}S'_e = \begin{cases} 0,506 S_{ut} \text{ (kpsi o Mpa)} & S_{ut} \geq 212 \text{ kpsi (1460 Mpa)} \\ 107 \text{ (Kpsi)} & S_{ut} = 212 \text{ kpsi (1460 Mpa)} \\ 740 \text{ (Mpa)} & S_{ut} \leq 212 \text{ kpsi (1460 Mpa)} \end{cases}$$

Dados los valores para este proyecto los siguientes:

$$\text{Acero AISI 1050 laminado en caliente: } \begin{cases} S_y = 345 \text{ (MPa)} \\ S_{ut} = 621 \text{ (MPa)} \end{cases}$$

- Momento Crítico $M = 33\,414,23$ [Nmm]
- Torque entregado por el Motor asumido como ideal $T = 4\,000$ [Nmm]
- Factor de seguridad $FS = 5$
- $k_a = 4,45 \cdot 621^{-0,265} = 0,80945$
- $k_b = 1,00$
- $k_c = 0,60$
- $k_d = 1,00$
- $k_e = 1,00$

⁵⁶ Idem, p 380.

⁵⁷ Idem. p 375.

- $S'_e = 0,506 \cdot 621 = 314,226 \text{ (MPa)}$
- $S_e = 152,61 \text{ (MPa)}$

Se debe tomar en cuenta que el motor no tiene el 100% de eficiencia al momento de transmitir el torque, esto se debe al propio motor como a los acoples y sistema de transmisión usados, por lo que se considera que el porcentaje entregado por el motor es de 75%, por lo tanto el Torque entregado es de:

$$T = 3000 \text{ (Nmm)}$$

Reemplazando los valores anteriores en la fórmula 3.8 obtenemos que el diámetro del tornillo de potencia es de $= 17,58 \text{ [mm]}$.

3.1.8 RESUMEN DE VALORES OBTENIDOS

Para la correcta elección del diámetro del tornillo de potencia se debe seleccionar el de mayor diámetro de los tres diseños anteriores, el de fuerza axial, por momento flexor y por fatiga.

- Diseño por tensión: $d = 6,35 \text{ (mm)}$
- Diseño por flexión: $d = 17,02 \text{ (mm)}$
- Diseño por fatiga: $d = 17,58 \text{ (mm)}$

En conclusión para determinar el diámetro del tornillo se debe tomar en cuenta el mayor valor obtenido en los diferentes cálculos de los diseños. Por lo que el diseño por fatiga es el parámetro determinante para seleccionar el diámetro que nos ofrece mayor confianza en nuestro sistema.

Se determina que es necesario un diámetro de 17,58 mm, por lo que se selecciona de la tabla 3.5 un diámetro mayor o aproximado que es el de 19.05 mm.

3.1.9 SELECCIÓN DEL TORNILLO DE POTENCIA

Los tornillos de potencia son muy difíciles de encontrar en el mercado nacional, esto es por motivo a su alto costo de manufactura con máquinas de alta precisión, se tomó la decisión de importar las piezas con las características requeridas.

A través de consulta e investigación sobre sistemas similares, se nos recomendó la empresa UGRA CNC – Parts and Components ubicada en los Estados Unidos, que ofrece:

- Bajo Costo.
- Cumplimiento de las necesidades de diseño.
- Acabados y manufactura de precisión.
- Elementos complementarios como: tuerca, rodamientos y soportes.

Según la anterior selección de diámetro de tornillo de 19,05 mm, refiriéndonos a la tabla 3.5 se realizó una nueva selección de un tornillo semejante al diámetro requerido, por lo tanto se seleccionó el tornillo de potencia 2005-4 de 20 mm de diámetro nominal. Tabla 3.6.

| Tipo | Dimensiones (mm) | | | | | | | | | | | | | |
|---------------|------------------|----------|--------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|-------------|-------------|-----------|
| | d | l | Da | D2 | A | B | L3 | G | H | Q | n | Ca | Coa | K |
| 1605-3 | 16 | 5 | 3,175 | 28 | 48 | 10 | 42 | 44 | 40 | M6 | 4 | 780 | 1790 | 20 |
| 1610-3 | 16 | 10 | 3,175 | 28 | 48 | 10 | 57 | 44 | 40 | M6 | 3 | 721 | 1249 | 15 |
| 2005-4 | 20 | 5 | 3,175 | 36 | 58 | 10 | 51 | 51 | 44 | M6 | 4 | 1130 | 2380 | 25 |
| 2505-4 | 25 | 5 | 3,175 | 40 | 62 | 10 | 51 | 55 | 48 | M6 | 4 | 1280 | 3110 | 35 |
| 2510-4 | 25 | 10 | 4,762 | 40 | 62 | 15 | 85 | 55 | 48 | M6 | 4 | 1944 | 3877 | 33 |

Tabla 3.6 Dimensiones de tornillos de potencia de la empresa UGRA CNC.⁵⁸

⁵⁸ UGRA CNC, Parts-Components. Catálogo Ball Screw BK-2005. 2012. p 13.

Dónde:

d , Diámetro nominal.

l , Paso.

K , Rigidez (kgf/m).

Ca , Carga dinámica (kgf).

Coa , Carga estática (kgf).

En la figura 3.20, se encuentra una representación gráfica complementaria a la tabla 3.6.

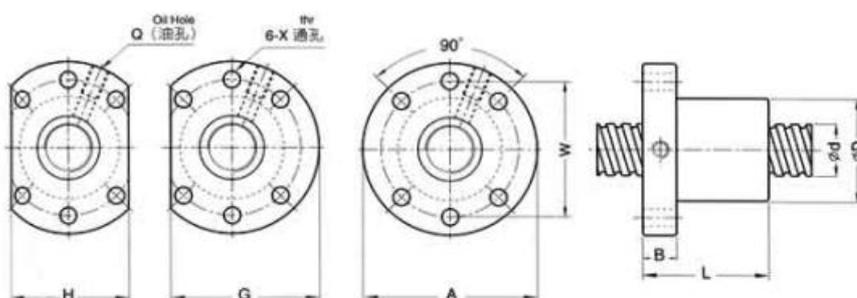


Figura 3.20 Esquema de las dimensiones de tornillos de potencia de la empresa UGRA CNC.⁵⁹

A lo que se refiere las especificaciones técnicas, el tornillo de potencia seleccionado posee las siguientes características:

- Rosca ojival con arco gótico.
- Material del tornillo: acero laminado AISI 1050.
- Diámetro nominal: $d=20$ (mm).
- Eficiencia del 80 al 90%

⁵⁹ UGRA CNC, Parts-Components. Catálogo Ball Screw BK-2005. 2012. p 14.

- Tuerca con tren de cojinetes de bolas recirculantes que reduce el coeficiente de fricción alrededor de $\mu=0.03$ (Tabla 3.6).
- Carga dinámica y estática considerablemente altas en relación a las necesidades del sistema (Tabla 3.6).

Las cuales cumplen con lo requerido en la sección de diseño por cargas y fatiga, hasta de mejor manera.

En resumen, el tornillo de potencia seleccionado, es un tornillo de potencia de bolas 2005-4, de un solo inicio, de perfil de rosca ojival con arco gótico, de 1000 (mm) de longitud, 20 (mm) de diámetro nominal y con acoplamientos en los extremos izquierdo y derecho, BK12 y BF12, a 12 y 51 (mm) de sus extremos respectivamente. Como se muestra en la Figura 3.21, las tablas 3.7 y 3.8 muestran los datos técnicos y materiales de fabricación respectivamente.



Figura 3.21. Tornillo de potencia, tuerca y soportes de la empresa UGRA CNC.⁶⁰

⁶⁰ UGRA CNC, Parts-Components. Catálogo Ball Screw BK-2005. 2012. p 5.

| MATERIAL | E=EFICIENCIA | MATERIAL | M=COEF. FRICCIÓN |
|--------------------------|---------------------|----------------------------|-------------------------|
| Tuerca de bolas | 0,80-0,90 | Acero en acero | 0,58 |
| ACME con tuerca plástica | 0,65 | Acero en acero (lubricado) | 0,15 |
| ACME con tuerca metálica | 0,40 | Teflón en acero | 0,04 |
| Cojinetes de bolas | 0,03 | ** | ** |

Tabla 3.7 Datos típicos de tornillos de potencia.⁶¹

| Parte | IHA | DIN | UNI | EN | AISI | Tratamiento | Dureza HRc |
|----------------|------------|------------|------------|-----------|-------------|-----------------------------|-------------------|
| Husillo | F1151 | CF50 | C50 | EN8 | 1050 | Temple por inducción | 58-62 |
| Tuerca | F158 | 20MnCr5 | 9NC D | EN320 | 8620 | Carburación temple revenido | 60-62 |
| Bolas | F131 | 100Cr6 | 100C6 | EN31 | 52100 | ** | 62-65 |

Tabla 3.8 Materiales de fabricación del tornillo de bolas 2005-4.⁶²

3.1.10 DISEÑO DEL TORNILLO DE POTENCIA DE BOLAS.

El tornillo de potencia de bolas seleccionado difiere en algunas características del tornillo seleccionado anteriormente de rosca ACME. Entre las cuales se encuentra el tipo de rozamiento que se da entre husillo y tuerca, en el caso del tornillo nominal de rosca ACME el rozamiento entre los elementos mencionados se da entre rosca y rosca, por el contrario en el tornillo de bolas se da entre rosca y bolas de cojinetes, esta característica disminuye la fricción que existe entre éstos elementos elevando considerablemente la eficiencia del sistema.

⁶¹ SURE-STEP Automation Direct, MANUAL STP-SYS-MSP Sistemas de motores paso a paso, p A-8.

⁶² UGRA CNC, Parts-Components. Catálogo Ball Screw BK-2005. 2012. p 16.

Por lo que el tipo de rosca es el determinante para el cálculo del par de torsión, se investigó que para los diferentes cálculos que se realice se va a asumir un perfil de rosca ACME, por ser el más parecido al que se necesita.

- Los tornillos de bolas, se componen básicamente de cuatro elementos de acción:
El husillo y la tuerca son las pistas interior y exterior de movimiento.
- Las bolas, los cuerpos de rodadura y transmisión, y los deflectores como las piezas de transferencia.

3.1.11 HUSILLO.

El husillo o tornillo es una de las partes más importantes del sistema, del cual se obtendrán datos esenciales para seleccionar o diseñar otros elementos.

3.1.12 PAR DE TORSIÓN.

El par de torsión necesario para mover las cargas sobre el tornillo de potencia, es un valor esencial para seleccionar la potencia del motor y diseñar el sistema de transmisión del mismo.

El tornillo de potencia va a estar sujeto a dos situaciones: en primera instancia cuando el desplazamiento sea para posicionar el carrete sin ninguna carga axial y cuando el ensayo como tal se esté realizando, es decir que el tornillo está soportando una carga axial generada por la fuerza de tracción de fallo para el elemento que se está ensayando.

De esta manera se elige la situación más crítica para realizar el cálculo del par de torsión necesario para mover el tornillo, que se refiere a la situación cuando el tornillo está sometido a una carga axial o como se conoce en algunos textos de diseño mecánico, cuando el tornillo necesita subir una carga axial.

Para determinar la fórmula del par de torsión se debe tomar a la rosca del tornillo como un plano inclinado, que se ha enroscado alrededor de un cilindro, creando una hélice. Si se desenroscara una revolución de la hélice, se visualizaría como la figura 3.22, que muestra un bloque que representa la tuerca en deslizamiento hacia arriba del plano inclinado de una rosca ACME.

También se muestran las fuerzas que actúan sobre la rosca como un diagrama de cuerpo libre. Por supuesto, la fuerza de fricción siempre se opone al desplazamiento. La inclinación se conoce como el ángulo de avance λ , establecido por la fórmula 3.10 :

$$\tan \lambda = \frac{L}{\pi d_p}$$

Fórmula 3.10. Ángulo de Avance en Plano Inclinado ⁶³.

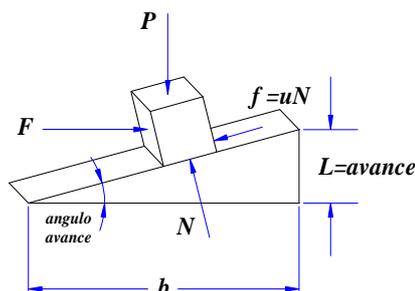


Figura 3.22. Diagrama de cuerpo libre tuerca-tornillo de una rosca ACME. ⁶⁴

De la figura 3.22 se tiene que $b = \pi d_p$ de la expresión respectiva del ángulo de avance.

Para determinar el par de torsión necesario para subir una carga axialmente, o en nuestro caso para llegar a la fuerza máxima de tracción alcanzada en los diferentes ensayos, se plantea la fórmula 3.11 de par de torsión:

⁶³ ROBERT L. NORTON., Diseños de máquinas. Pearson, 1999. p 897.

⁶⁴ Fuente: Propia.

$${}^{65}T = F \frac{d_p}{2}$$

Fórmula 3.11. Par de Torsión para tornillo de potencia.

Dónde:

- F , Carga axial a levantar.
- d_p , Diámetro de paso del tornillo de potencia.

Para hallar la expresión equivalente de F y por ende la expresión del par de torsión se realiza el diagrama del cuerpo libre partiendo de la figura 3.22. Hay que tomar en cuenta que el ángulo radial de una rosca ACME introduce un factor adicional en la fórmula del par de torsión.

La fuerza normal entre tornillo y tuerca se presenta en ángulo en dos planos, en el ángulo de avance λ según se muestra en la figura 3.23 y también en el ángulo de $\alpha = 14,5^\circ$ de la rosca ACME, según se muestra en la figura 3.24.

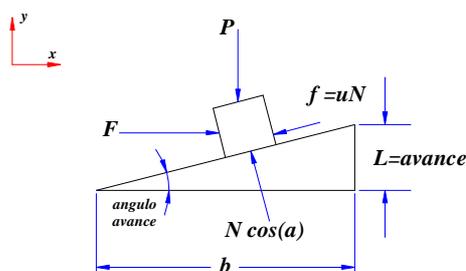


Figura 3.23. Diagrama de cuerpo libre para rosca ACME en el plano x-y.⁶⁶

⁶⁵ ROBERT L. NORTON., Diseños de máquinas. Pearson, 1999. p 899.

⁶⁶ Fuente: Propia.

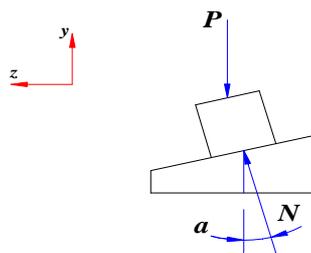


Figura 3.24. Diagrama de cuerpo libre para rosca ACME en el plano y-z.⁶⁷

Partiendo de la figura 3.22 se plantea las ecuaciones de equilibrio para las fuerzas en las direcciones x y y .

$$\begin{aligned}\sum F_x &= 0 \\ F - f \cos \lambda - N \cos \alpha \sin \lambda &= 0 \\ F - uN \cos \lambda - N \cos \alpha \sin \lambda &= 0\end{aligned}$$

Fórmula 3.12. Equilibrio de Fuerzas en Plano Inclinado en x .

$$\sum F_y = 0$$

$$N \cos \lambda \cos \alpha - f \sin \lambda - P = 0$$

$$N \cos \lambda \cos \alpha - uN \sin \lambda - P = 0$$

Fórmula 3.13. Equilibrio de Fuerzas en Plano Inclinado en y .

Donde u es el coeficiente de fricción entre el tornillo y el tren de bolas recirculantes pertenecientes a la tuerca. Despejando la F de la fórmula 3.12 obtenida de la $\sum F_x$ y la N de la fórmula 3.13 obtenida de la $\sum F_y$, se tiene:

$$F = N(\mu \cos \lambda + \cos \alpha \sin \lambda)$$

Fórmula 3.14. Fuerza Axial en tornillo.

⁶⁷ Fuente: Propia.

$$N = \frac{P}{(\cos \lambda \cos \alpha - \mu \sin \lambda)}$$

Fórmula 3.15. Peso sobre tornillo.

Reemplazando la fórmula 3.15 de la N en la fórmula 3.14 de la F , se obtiene la siguiente expresión:

$$F = P \frac{(\mu \cos \lambda + \cos \alpha \sin \lambda)}{(\cos \lambda \cos \alpha - \mu \sin \lambda)}$$

Fórmula 3.16. Fuerza en función del Peso y de ángulo del Plano Inclinado.

Por tanto el par de torsión requerido para lograr la carga de tracción necesaria en función de las características de la rosca del tornillo, está definido reemplazando la fórmula 3.16 en la fórmula 3.11 teniendo:

$$T = \frac{P d_p (\mu \cos \lambda + \cos \alpha \sin \lambda)}{2 (\cos \lambda \cos \alpha - \mu \sin \lambda)}$$

Fórmula 3.17. Par de torsión en función del Peso y de ángulo del Plano Inclinado.

Resulta más conveniente expresar la fórmula anterior en función del avance L en vez del ángulo de avance λ , por lo que se divide el numerador y el denominador de la fórmula del par requerido entre $\cos \lambda$ y se sustituye $\frac{L}{\pi d_p}$ por $\tan \lambda$, teniendo:

$$T = \frac{P d_p (\mu \pi d_p + L \cos \alpha)}{2 (\pi d_p \cos \alpha - \mu L)}$$

Fórmula 3.18. Par de torsión en función de datos conocidos.

Se selecciona el coeficiente de fricción más acercado a la realidad, seleccionando el coeficiente de fricción de cojinetes de bolas de $\mu = 0,03$.

A partir de la tabla 3.6, con el valor del diámetro nominal d y el paso l , se calcula el diámetro de paso del tornillo partiendo de la siguiente fórmula, para el posterior cálculo del par de torsión requerido.

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

Fórmula 3.19. Cálculo del Diámetro Raíz

$$d_p = \frac{d + d_r}{2}$$

Fórmula 3.20. Cálculo del Diámetro de Paso

Dónde:

- d_r , Diámetro de raíz.
- d_p , Diámetro de paso.
- d , Diámetro nominal.
- p , Paso del tornillo de potencia.

De esta manera se tiene con los valores de la tabla 3.6 para el tornillo 2005-4, el cálculo del diámetro de raíz del tornillo en la fórmula 3.20:

$$d_r = 20 - \frac{5}{2}$$

$$d_r = 17,5 \text{ (mm)}$$

Para el diámetro de paso en la fórmula 3.20, se tiene:

$$d_p = \frac{20 + 17,5}{2}$$

$$d_p = 18,75 \text{ (mm)}$$

El par de torsión requerido para lograr la fuerza de tracción mayor a 800 (N), necesaria para soportar la carga axial de la varilla más pesada, está definido por los siguientes datos:

- Rosca ACME de un solo inicio.
- Carga axial, $P = 800 \text{ (N)}$
- Coeficiente de fricción, $\mu = 0,03$
- Avance, $L = 5 \text{ (mm)} = 0,005 \text{ (m)}$
- Diámetro de paso, $dp = 18,75 \text{ (mm)} = 0,01875 \text{ (m)}$

De la fórmula 3.18 correspondiente al par de torsión necesario para cargas axiales, se tiene:

$$T = \frac{1600 \cdot 0,01875 (0,03 \cdot \pi \cdot 0,01875 + 0,005 \cdot \cos 14,5^\circ)}{2 (\pi \cdot 0,01875 \cdot \cos 14,5^\circ - 0,03 \cdot 0,005)}$$

$$T_{Carga\ axial} = 1,74 \text{ (Nm)}$$

Hay que tomar en cuenta que las cargas perpendiculares en el tornillo de potencia descritas en la tabla 3.6, también necesitan de un torque para ser desplazadas. Teniendo en cuenta que es una carga perpendicular, a este valor se lo debe multiplicar por el valor del coeficiente de rozamiento entre el husillo y el tren de bolas recirculantes, determinado anteriormente el valor de $\mu=0,03$, para introducirlo en la fórmula 3.18 correspondiente al par de torsión para una carga axial para obtener la fórmula del par de torsión requerido para una carga perpendicular.

$$T = \frac{P \mu d_p (\mu \pi d_p + L \cos \alpha)}{2 (\pi d_p \cos \alpha - \mu L)}$$

Fórmula 3.21. Cálculo del Torque con carga perpendicular

Por tanto el par de torsión requerido para mover las cargas perpendiculares correspondientes que soporta el tornillo de bolas (mesa, actuador, etc.), está definida por la fórmula 3.21, teniendo que:

$$T = \frac{635,75 \cdot 0,17 \cdot 0,01875 (0,03 \cdot \pi \cdot 0,01875 + 0,005 \cdot \cos 14,5^\circ)}{2 (\pi \cdot 0,01875 \cdot \cos 14,5^\circ - 0,03 \cdot 0,005)}$$

$$T_{Carga\ perpendicular} = 0,11 (Nm)$$

Por lo tanto el par de torsión necesario para mover los elementos del separador y lograr la fuerza de para soportar el peso de la varilla de mayor peso, en el tornillo de bolas es la suma de los dos valores calculados anteriormente.

$$T_{Total} = 1,74 + 0,11$$

$$T_{Total} = \mathbf{1,85 (Nm)}$$

3.1.13 VELOCIDAD CRÍTICA.

Es importante que el husillo de bolas funcione a velocidad inferior a la de su frecuencia natural de vibración, en que aparecen fuerzas desequilibrantes. Por lo que aparece el fenómeno de velocidad crítica, a la cual el tornillo tiende a vibrar o agitarse sobre su eje, y posiblemente alcance amplitudes peligrosas. En consecuencia se recomienda que la velocidad de funcionamiento del husillo sea menor que 0.80 veces la velocidad crítica.

Un estimado de la velocidad crítica, sugerido por Roton Products, Inc y Niasa Products se representa en la siguiente fórmula 3.22:

$$n_c = \frac{4,76 \times 10^6 \cdot d_r \cdot K_s}{SF \cdot La^2}$$

Fórmula 3.22. Cálculo de Velocidad Crítica⁶⁸

Dónde:

- n_c , Velocidad crítica (min^{-1}).
- d_r , Diámetro de raíz del tornillo (in).
- K_s , Factor de empotramiento de extremos.
- La , Longitud entre los soportes (in).
- SF , Factor de seguridad.

El factor de empotramiento de extremos, K_s , depende de la forma de soportar los extremos del tornillo; las posibilidades se visualizan en la figura 3.25:

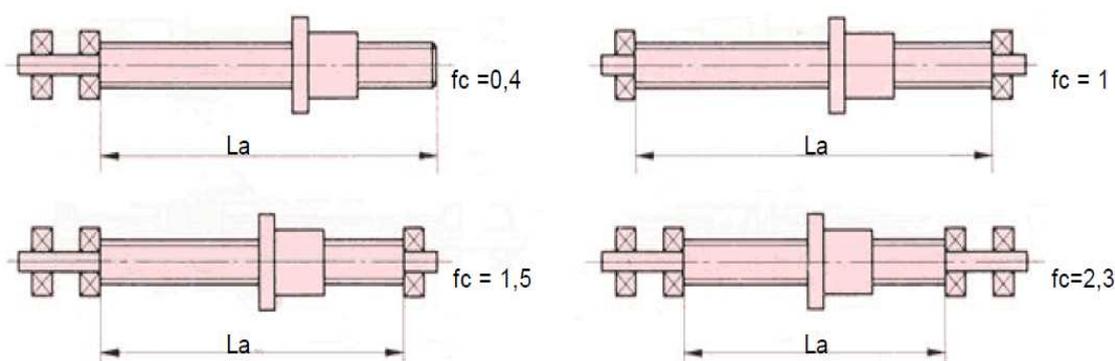


Figura 3.25. Representación del factor de empotramiento en los extremos K_s .⁶⁹

⁶⁸ http://www.niasa.es/backend/catalogos/husillos_es.pdf. Husillos de bolas. Español. p 5.

⁶⁹ http://www.niasa.es/backend/catalogos/husillos_es.pdf. Husillos de bolas. Español. p 9.

- Simplemente apoyado en cada extremo, con un cojinete: $K_s = 1$.
- Empotrado en cada extremo, con dos cojinetes que evitan rotación en el apoyo: $K_s = 2,3$.
- Empotrado en un extremo y simplemente en el otro: $K_s = 1,5$.
- Empotrado en un extremo y libre en el otro: $K_s = 0,4$.

De acuerdo a las necesidades del sistema y selección del tornillo de bolas, el tornillo de potencia se empotrará en cada extremo con dos cojinetes (BK12 y BF12), por lo que el factor empotramiento $K_s = 1$.

Del diseño del par de torsión necesario para el tornillo de bolas, se tiene los siguientes datos:

- $d_r = 17,5 \text{ (mm)} = 0,689 \text{ (in)}$.
- $K_s = 1$
- $La = 900 \text{ (mm)} = 35,43 \text{ (in)}$ ⁷⁰
- $SF = 3$

Aplicando la fórmula 3.22 con los datos mencionados, se tiene:

$$n_c = \frac{4,76 \times 10^6 \cdot 0,689 \cdot 1}{3 \cdot 35,43^2}$$

$$n_c = 870,69 \text{ (min}^{-1}\text{)}$$

La velocidad máxima permitida para el husillo antes de provocar fuerzas desequilibrantes, está dada por la fórmula 3.23, proporcionado por la empresa Niasa Products.

⁷⁰ Longitud que va ser utilizada del tornillo.

$$n_{ad} = n_c \cdot f_c \cdot 0,8$$

Fórmula 3.23. Cálculo de Velocidad Máxima Permitida⁷¹

Dónde:

- n_{ad} , Velocidad máxima permitida (min^{-1}).
- n_c , Velocidad crítica (min^{-1}).
- f_c , Factor de corrección de apoyos.

De la fórmula 3.23 se obtiene el valor de velocidad máxima permitida para el giro del husillo, de donde:

- $n_c = 870,69 \text{ min}^{-1}$.
- $f_c = 1$

$$n_{ad} = 870,69 \cdot 1 \cdot 0,8 = 696,55 \text{ (min}^{-1}\text{)}$$

$$\mathbf{n_{ad} = 110,86 \text{ RPM}}$$

3.1.14 EFICIENCIA DEL TORNILLO DE POTENCIA.

La eficiencia de cualquier sistema se define como trabajo de salida/trabajo de entrada. El trabajo efectuado sobre un tornillo de potencia es el producto del par de torsión y del desplazamiento angular (radianes), mismo que para una revolución del tornillo está dado por la fórmula 3.24:

$$W_{entrada} = 2\pi T$$

Fórmula 3.24. Cálculo de Trabajo de entrada⁷²

⁷¹ http://www.niasa.es/backend/catalogos/husillos_es.pdf. Husillos de bolas. Español. p 5.

El trabajo entregado es una revolución es la fuerza de carga multiplicada por el avance, da la fórmula 3.25.

$$W_{salida} = PL$$

Fórmula 3.25. Cálculo de Trabajo de salida⁷³

En donde la eficiencia de un tornillo de potencia está dada por la fórmula 3.26.

$$e = \frac{W_{salida}}{W_{entrada}} = \frac{PL}{2\pi T}$$

Fórmula 3.26. Cálculo de Eficiencia del Tornillo.

Dónde:

- P , Carga axial que soporta el tornillo.
- L , Avance del tornillo.
- T , Torque necesario para el tornillo.

Reemplazando los valores en la fórmula 3.26, obtenidos hasta el momento, se obtiene que la eficiencia está dada por:

$$e = \frac{(1600 + 0.03 \cdot 199,65) \cdot 0,005}{2 \cdot \pi \cdot 1,85} \left(\frac{Nm}{Nm} \right)$$

$$e = 0,6908 * 100\%$$

⁷² ROBERT L. NORTON., Diseños de máquinas. Pearson, 1999. p 902.

⁷³ ROBERT L. NORTON., Diseños de máquinas. Pearson, 1999. p 902.

$$e_{\text{tornillo de potencia}} = 69,08 \%$$

3.1.15 TUERCA

Cuando se transmite una carga el tornillo de bolas se somete a esfuerzos parecidos a los existentes en un rodamiento de bolas. La figura 3.26 muestra los elementos de la tuerca de tornillo de bolas de la empresa UGRA CNC.

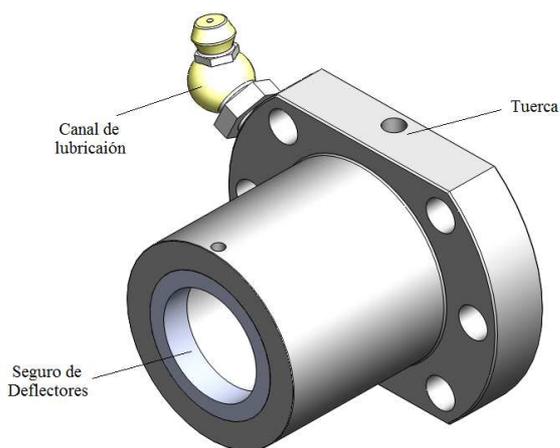


Figura 0.26. Tuerca del tornillo de bolas 2005-4 de la empresa UGRA CNC.⁷⁴

Por tanto la tuerca es un elemento preponderante en el funcionamiento del tornillo como tal.

3.1.15.1 Diseño de la tuerca.

La tuerca como tal es el elemento en movimiento que soportará el peso del carrete y la herramienta, por lo que se lo analizará a corte y a compresión para determinar si la tuerca seleccionada y en específico si la altura de la tuerca seleccionada es la correcta.

3.1.15.1.1 Diseño a corte.

Para el diseño a corte de la rosca de la tuerca se considera el esfuerzo cortante medio a los filetes de la misma representado por la fórmula 3.27:

⁷⁴ Fuente: Propia.

$$\tau = \frac{2F}{\pi d_i h}$$

Fórmula 3.27. Esfuerzo de Tensión al corte.

Dónde:

- τ , Esfuerzo cortante $\left(\frac{N}{m^2}\right)$.
- F , Fuerza axial al filete de la tuerca (N).
- d_i , Diámetro interior de la tuerca (m).
- h , Altura de la tuerca (m).

La fuerza axial total está dada por el peso de la meza deslizante más el pistón y la carga axial a soportar:

$$F = 1960 + 0,17 \cdot 175,12$$

$$F = 1989,77 (N)$$

$$F \cong 2000 (N)$$

El valor de la altura de la tuerca se lo puedo observar de la tabla de características del tornillo (Tabla 3.6) proporcionado por el fabricante, seleccionando el valor de $h=36$ (mm).

Teniendo en cuenta que el diámetro interior de la tuerca debe ser mayor al diámetro nominal del husillo ya que debe existir un espacio de recirculación para el tren de bolas, como se observa en la figura 3.20.

Dicho valor se lo obtuvo midiendo físicamente con un calibrador al diámetro interior de la tuerca. Obteniendo los siguientes datos:

- $F = 2000 (N)$
- $d_i = 26 (mm) = 0,026 (m)$
- $h = 36 (mm) = 0,036 (m)$

Se reemplaza los datos en la fórmula 3.27, y se tiene que:

$$\tau = \frac{2 \cdot 2000}{\pi \cdot 0,026 \cdot 0,036}$$

$$\tau = 1360298,7 \left(\frac{N}{m^2} \right)$$

El factor de diseño para el esfuerzo de corte se da por la fórmula 3.28:

$$n = \frac{S_{sy}}{\tau} = \frac{0,577 \cdot S_y}{\tau}$$

Fórmula 3.28. Coeficiente de seguridad al esfuerzo de corte

Dónde:

- S_y , Esfuerzo de fluencia del material $\left(\frac{N}{m^2} \right)$.
- τ , Esfuerzo de corte $\left(\frac{N}{m^2} \right)$.

| Propiedades Mecánicas Aceros Carburizados | | | | | | | | |
|---|--|---------------------------|------|-----------------------------|------|--|---------------------|--------------------------|
| Número de designación del material AISI | Condición | Resistencia a la tracción | | Resistencia a Punto Cedente | | Ductibilidad (elongación porcentual en 2 pulg) | Dureza Brinell (HB) | Dureza superficial (HRC) |
| | | Ksi | Mpa | Ksi | Mpa | | | |
| 4820 | SOQT 300 | 207 | 1430 | 167 | 1150 | 13 | 415 | 61 |
| 4820 | DOQT 300 | 204 | 1405 | 165 | 1140 | 13 | 415 | 60 |
| 4820 | SOQT 450 | 205 | 1410 | 184 | 1270 | 13 | 415 | 57 |
| 4820 | DOQT 450 | 196 | 1350 | 171 | 1180 | 13 | 401 | 56 |
| 8620 | SOQT 300 | 188 | 1300 | 149 | 1030 | 11 | 388 | 64 |
| 8620 | DOQT 300 | 133 | 917 | 83 | 572 | 20 | 269 | 64 |
| 8620 | SOQT 450 | 167 | 1150 | 120 | 827 | 14 | 341 | 61 |
| 8620 | DOQT 450 | 130 | 896 | 77 | 531 | 22 | 262 | 61 |
| E9310 | SOQT 300 | 173 | 1190 | 135 | 931 | 15 | 363 | 62 |
| E9310 | DOQT 300 | 174 | 1200 | 139 | 958 | 15 | 363 | 60 |
| E9310 | SOQT 450 | 168 | 1160 | 137 | 945 | 15 | 341 | 59 |
| E9310 | DOQT 450 | 169 | 1170 | 138 | 952 | 15 | 352 | 58 |
| SWQT: | Inmerso una vez en agua y templado | | | | | | | |
| SOQT: | Inmerso una vez en aceite y templado | | | | | | | |
| DOQT: | Inmerso dos veces en aceite y templado | | | | | | | |
| 300 y 400 son las temperaturas de templado en °F, Carburizado durante 8h, la profundidad de la superficie varía entre 0,045 y 0,075" | | | | | | | | |

Tabla 3.9 Propiedades mecánicas de aceros al carburizados.⁷⁵

Tomando en cuenta que el material de la tuerca es de acero AISI 8620 tratado por carburización en temple revenido y su límite de fluencia es esta dado por la tabla 3.9.

$$\sigma_{fluencia} = 572 \text{ (MPa)}.$$

Reemplazando los datos obtenidos anteriormente en la fórmula 3.28, se tiene:

$$n = \frac{0,577 \cdot 572 \times 10^6}{1360298,7}$$

$$n = 242,626$$

⁷⁵ Fuente: SAE Handbook. Society of Automotive Engineers. Warrendale Pa. Metals Handbook.

3.1.15.1.2 Diseño a compresión.

Para el diseño a compresión de la rosca en la tuerca se considera a compresión medio representado por la fórmula 3.29

$$\sigma_{(-)} = \frac{F}{A} = \frac{4pF}{\pi(d_i^2 - d_{ir}^2)h}$$

Fórmula 3.29. Cálculo por esfuerzo a compresión

Dónde:

- $\sigma_{(-)}$, Esfuerzo a compresión medio $\left(\frac{N}{m^2}\right)$.
- p , Paso del tornillo (m).
- F , Fuerza axial al filete de la tuerca (N).
- d_i , Diámetro interno de la tuerca (m).
- d_{ir} , Diámetro de raíz de la tuerca (m).
- h , Altura de la tuerca (m).

Para hallar el diámetro de raíz de la tuerca se aplica la fórmula 3.20, teniendo que:

$$d_r = 26 - \frac{5}{2}$$

$$d_r = 23,5 \text{ (mm)}$$

Determinado los siguientes datos correspondientes al esfuerzo a compresión y reemplazando los mismos en la fórmula 3.29, se tiene que:

- $p = 5 \text{ (mm)} = 0.005 \text{ (m)}$
- $F = 2000 \text{ (N)}$
- $d_i = 26 \text{ (mm)} = 0.026 \text{ (m)}$
- $d_{ir} = 23.5 \text{ (mm)} = 0,0235 \text{ (m)}$
- $h = 36 \text{ (mm)} = 0.036 \text{ (m)}$

$$\sigma_{(-)} = \frac{4 \cdot 0,005 \cdot 2000}{\pi \cdot (0,026^2 - 0,0235^2) \cdot 0,036}$$

$$\sigma_{(-)} = 2858001,223 \left(\frac{N}{m^2} \right)$$

El factor de diseño para el esfuerzo de compresión se da por la fórmula 3.30:

$$n = \frac{Sy}{\sigma_{(-)}}$$

Fórmula 3.30. Coeficiente de seguridad de esfuerzo a compresión

Dónde:

- Sy , Esfuerzo de fluencia del material $\left(\frac{N}{m^2} \right)$.
- $\sigma_{(-)}$, Esfuerzo de compresión $\left(\frac{N}{m^2} \right)$.

Reemplazando los datos en la fórmula 3.30, se tiene:

$$n = \frac{572 \times 10^6}{2858001,223}$$

$$n = 200,139$$

3.1.15.1.3 Interpretación de resultados.

Los factores de seguridad para el diseño estático de la tuerca son considerablemente altos, esto indica que la tuerca se encuentra sobredimensionada.

Pero considerando que dicho elemento es parte en si del tornillo y de las partes como fue adquirido el mismo, con dichos factores de seguridad la tuerca del tornillo de bolas no fallará en las necesidades del sistema.

3.1.15.1.4 Diseño por carga dinámica.

Definiendo a la carga dinámica como la carga axial concéntrica al eje, constante y unidireccional, con la que un grupo suficiente de tornillos de bolas idénticos, alcanza una duración de vida de 1 millón de revoluciones.

Por tanto para determinar la carga dinámica se deben determinar algunos datos de funcionamiento. Dichos datos fueron consultados a la empresa auspiciante observados en la tabla 3.10

Tomando en cuenta la velocidad necesaria que se necesita para no producir retrasos en la separación en el manto de varillas, por lo que la mayor longitud de manto existente es aproximadamente de 900mm y por estimando un parámetro de seguridad, se estima una velocidad de $550 \pm 10 \frac{mm}{min}$.

Siendo el husillo de un solo inicio, por tanto se tiene que el paso (5 mm) es igual al avance del mismo, teniendo que la velocidad de rotación en min^{-1} es igual a:

$$\omega = 550 \frac{mm}{min} \cdot \frac{1 rev}{5 mm} \cdot \frac{2\pi rad}{1 rev}$$

$$\omega = 691,15 min^{-1}$$

| | Tipo de Carga | Estado | Fuerza F (N) | Tiempo q (%) | Velocidad angular (min^{-1}) |
|---|--|------------------------------|--------------|--------------|---|
| 1 | Carga máxima | Separación de Manto Varillas | 800 | 10% | 691,15 |
| 2 | Carga normal | Movimiento de Meza | 60 | 80% | 691,15 |
| 3 | Carga mínima | Separación 1 Varilla | 200 | 10% | 691,15 |
| 4 | Vida que se desea para la máquina: 20000 horas de trabajo. | | | | |
| 5 | Funcionamiento del husillo: 23 % del tiempo de la máquina. | | | | |

Tabla 3.10 Especificaciones de funcionamiento del sistema.⁷⁶

Antes de definir la capacidad dinámica del mismo se debe definir dos términos que se involucran en el diseño por carga dinámica, que son Velocidad Media y Carga Media.

3.1.15.1.5 Velocidad media.

En el ciclo de trabajo de una máquina, la velocidad puede ser variable, por tanto para calcular la duración de vida y su capacidad de carga dinámica, se aplican los valores promedios, de acuerdo a las especificaciones del fabricante se tiene definido la velocidad media en la fórmula 3.31, así como se puede representar en la figura 3.27.

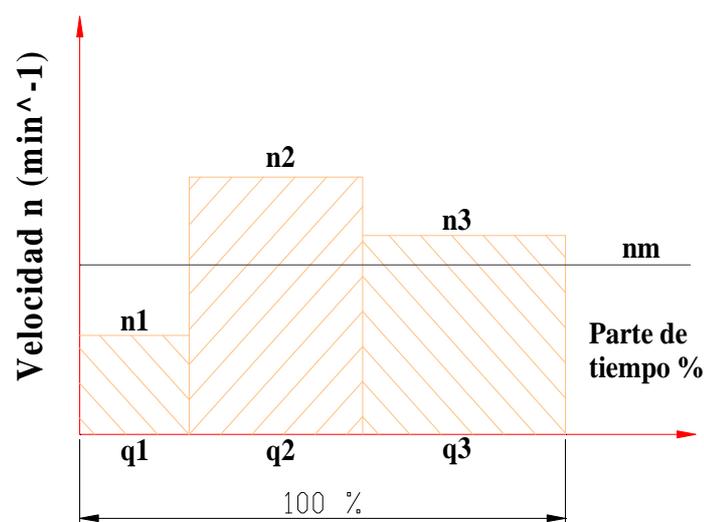


Figura 3.27. Esquema representativo del término velocidad media.⁷⁷

⁷⁶ Fuente Propia.

$$n_m = \frac{q_1}{100} n_1 + \frac{q_2}{100} n_2 + \frac{q_3}{100} n_3 + \dots$$

Fórmula 3.31. Velocidad Media de la máquina

Dónde:

- n_m , Velocidad media (min^{-1}).
- $q_{\#}$, Tiempo en % en relación al 100%, de la velocidad de la fase del husillo.
- $n_{\#}$, Velocidad de la fase del husillo (min^{-1}).

Reemplazando los valores de la tabla 3.10 en la fórmula 3.31, se tiene:

$$n_m = \frac{10}{100} \cdot 691,15 + \frac{80}{100} \cdot 691,15 + \frac{10}{100} \cdot 691,15 = 691,15(min^{-1})$$

3.1.15.1.6 Carga media.

De igual manera que con la velocidad media, en el ciclo de trabajo del sistema, la carga puede ser variable. De acuerdo a las especificaciones del fabricante se tiene definido la carga media en la fórmula 3.32 para una velocidad constante y en la fórmula 3.33 para una velocidad variable, así como se puede representar en la figura 3.28.

⁷⁷ Fuente Propia.

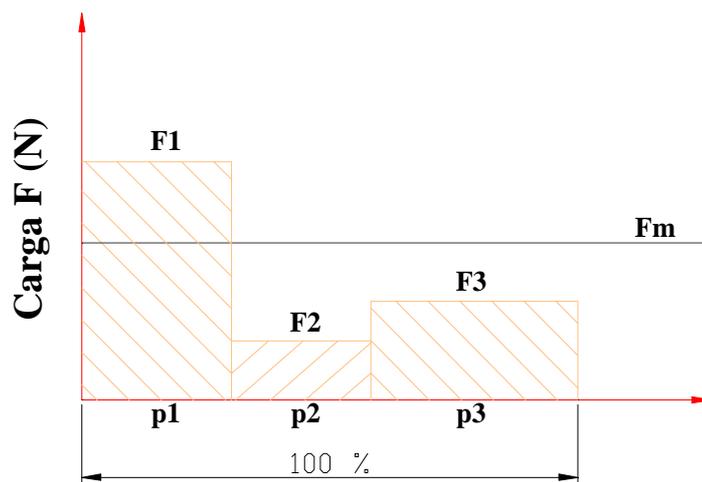


Figura 3.28. Esquema representativo del término carga media.⁷⁸

Para una carga variable y una velocidad constante se tiene:

$$F_m = \left(F_1^3 \frac{q_1}{100} + F_2^3 \frac{q_2}{100} + F_3^3 \frac{q_3}{100} + \dots \right)^{\frac{1}{3}}$$

Fórmula 3.32. Carga media de la máquina con velocidad constante⁷⁹

Para una carga variable y una velocidad variable se tiene:

$$F_m = \left(F_1^3 \frac{n_1}{n_m} \frac{q_1}{100} + F_2^3 \frac{n_2}{n_m} \frac{q_2}{100} + F_3^3 \frac{n_3}{n_m} \frac{q_3}{100} + \dots \right)^{\frac{1}{3}}$$

Fórmula 3.33. Carga media de la máquina con velocidad variable⁸⁰

Dónde:

- F_m , Carga Media (N).
- $F_{\#}$, Carga (N).

⁷⁸ Fuente Propia.

⁷⁹ http://www.niasa.es/backend/catalogos/husillos_es.pdf. Husillos de bolas. Español. p 6.

⁸⁰ http://www.niasa.es/backend/catalogos/husillos_es.pdf. Husillos de bolas. Español. p 6.

- $q_{\#}$, Tiempo en % en relación al 100%, de la velocidad de la fase del husillo.
- $n_{\#}$, Velocidad de la fase del husillo (min^{-1}).
- n_m , Velocidad media (min^{-1}).

Reemplazando los valores obtenidos en la tabla 3.10 en la fórmula 3.32, se tiene:

$$F_m = \left(800^3 \frac{10}{100} + 60^3 \frac{80}{100} + 200^3 \frac{10}{100} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$F_m = 373,66 (N)$$

3.1.15.1.7 Carga dinámica.

De acuerdo a las especificaciones del fabricante la carga dinámica está definida por la fórmula 3.34:

$$C = 0,01 (L_h F_m^3 n_m f_n 60)^{\frac{1}{3}}$$

Fórmula 3.34. Carga Dinámica⁸¹

Dónde:

- C , Capacidad de carga dinámica (N).
- L_h , Duración de vida (*horas*).
- F_m , Carga media (N).
- n_m , Velocidad media (min^{-1}).
- f_n , Factor de utilización

De donde el factor de utilización, está representado en la fórmula 3.35:

⁸¹ http://www.niasa.es/backend/catalogos/husillos_es.pdf. Husillos de bolas. Español. p 6.

$$f_n = \frac{\text{Funcionamiento del husillo}}{\text{Funcionamiento de la máquina}}$$

Fórmula 3.35. Carga Dinámica⁸²

Reemplazando los valores obtenidos de velocidad media, carga media y los valores de funcionamiento en la fórmula 3.34, se tiene:

$$C = 0,01 \left(20000 \cdot 373,66^3 \cdot 691,15 \cdot \frac{23}{100} \cdot 60 \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$C = 2150,98 (N)$$

3.1.15.1.8 Interpretación de resultados.

Tomando en cuenta que la carga dinámica nominal del tornillo de bolas seleccionado 2005-4, $C = 1130 (kgf) = 11081,515 (N)$ y la carga dinámica calculada, $C = 2150,98 (N)$ es menor a su valor nominal se confirma la selección del tornillo de bolas por diseño de la carga dinámica que soporta el mismo.

3.1.15.1.9 Diseño por duración de vida en horas.

La duración nominal de vida es definida por el número de revoluciones alcanzado por el 90% de un grupo de tornillos de bolas idénticos, antes de que aparezcan los primeros signos visibles de fatiga del material. La duración de vida está expresada por L (vueltas) o por L_h (horas).

Por ende, siendo un factor muy relevante en la elección del tornillo de bolas, se debe comprobar la estimación de vida deseada (ver tabla 3.10).

La fórmula 3.36 estima la duración de vida en número de vueltas, proporcionada por el fabricante del tornillo.

⁸² http://www.niasa.es/backend/catalogos/husillos_es.pdf. Husillos de bolas. Español. p 6.

$$L = \frac{C^3}{F_m^3} \times 10^4$$

Fórmula 3.36. Cálculo de duración de vida en número de vueltas⁸³

Dónde:

- L , Duración de vida (*vueltas*).
- C , Capacidad de carga dinámica (N).
- F_m , Carga media (N).

La fórmula 3.37 estima la duración de vida en horas, proporcionada por el fabricante del tornillo.

$$L_h = \frac{L}{n_m f_n 60}$$

Fórmula 3.37. Cálculo de duración de vida en horas⁸⁴

Dónde:

- L_h , Duración de vida (*horas*).
- L , Duración de vida (*vueltas*).
- n_m , Velocidad media (min^{-1}).
- f_n , Factor de utilización.

⁸³ http://www.niasa.es/backend/catalogos/husillos_es.pdf. Husillos de bolas. Español. p 6.

⁸⁴ http://www.niasa.es/backend/catalogos/husillos_es.pdf. Husillos de bolas. Español. p 6.

Tomando en cuenta que la carga dinámica $C = 1130 \text{ (kgf)} = 11081,515 \text{ (N)}$, y reemplazando el valor de carga media en la fórmula 3.36, se obtiene la duración de vida en número de vueltas:

$$L = \frac{11081,515^3}{373,66^3} \times 10^4$$

$$L = 26083,60 \times 10^4 \text{ (vueltas)}$$

Reemplazando los valores de velocidad media, factor de utilización y duración de vida en número de vueltas en la fórmula 3.37, se tiene:

$$L_h = \frac{26083,60 \times 10^4}{691,15 \cdot 0,23 \cdot 60}$$

$$L_h = 27347,41 \text{ (horas)}$$

3.1.15.1.10 Interpretación de resultados.

Tomando en cuenta que la duración de vida en horas determina de $L_h = 27347,41 \text{ (horas)}$ es mayor a la duración de vida en horas propuesta por la empresa auspiciante de $L_h = 20000 \text{ (horas)}$, por tanto se comprueba la selección del tornillo de bolas 2005-4 cumple con las necesidades del sistema.

3.1.16 CILINDRO NEUMÁTICO.

Para la separación en el manto de varillas se va hacer uso del cilindro neumático, el cual sea capaz de soportar la carga axial de las varillas separadas del paquete formado, tomando en cuenta especificaciones .

Seleccionando un cilindro neumático para dicha función, por su bajo costo, facilidad de control y fácil instalación.

3.1.16.1 Diseño por esfuerzo a flexión.

De acuerdo a las necesidades de la empresa, es necesario un separador para marcar del manto las varillas necesarias para formar el paquete deseado, tal trabajo lo va a realizar el vástago del cilindro neumático, por lo tanto hay que tomar en consideración la carga del manto de varillas sobre el mismo y la distancia en la que se va a realizar dicho esfuerzo.

Por lo que la longitud del vástago del cilindro neumático se seleccionará de 100 (mm), por motivos de asegurar una buena separación del manto. Dicha longitud es considerable, por lo que es necesario determinar que la carga debe estar lo más cerca del punto de apoyo cuando el vástago se encuentre fuera del cilindro, de preferencia debe ser menor que la mitad de la carrera estimada es decir entre 30 – 50 (mm).

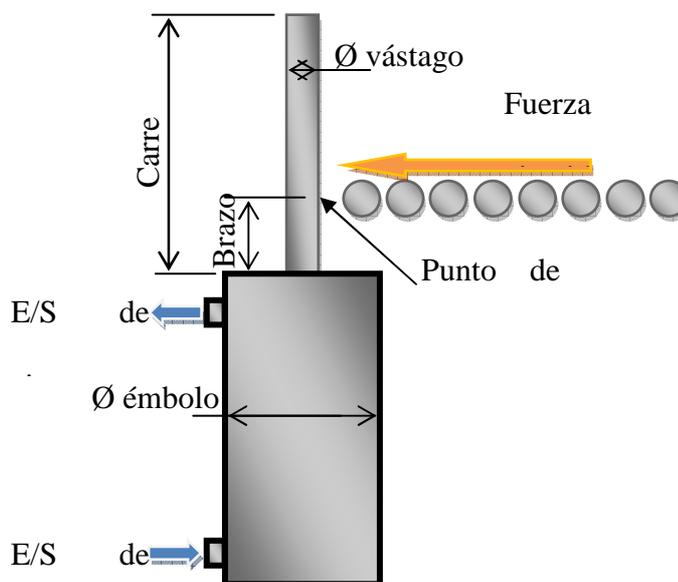


Figura 3.29. Parámetros para diseño

Tal como se indica en la figura 3.29 se demuestran los parámetros necesarios para el diseño y selección del cilindro neumático, de los cuales ya disponemos de algunos datos, los cuales son los siguientes:

Fuerza ejercida: $F = 800$ [N]⁸⁵

Carrera: $C = 100$ [mm]

Brazo: $b = 40$ [mm]

Factor de seguridad: $n = 4$

Límite a la Fluencia: $S_y = 345$ [Mpa]⁸⁶

El vástago en si se va encontrar en un estado de flexión debido a la carga del manto de varillas, por lo que para su diseño se va a referir a la fórmula 3.7, diámetro mínimo sometido a un esfuerzo de flexión de la cual necesitamos el Momento (M), el cual lo calculamos:

$$M = \frac{F * b}{1000}$$

$$M = \frac{800 * 40}{1000} = 32 \text{ [Nm]}$$

Remplazamos los datos conocidos en la fórmula 3.7, donde se obtiene:

$$d = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot 32 \cdot 4}{\pi \cdot 345}}$$

$$d = 0,01557[\text{m}] = 15,57[\text{mm}]$$

3.1.16.1.1 Interpretación de resultados.

El vástago del cilindro neumático debe ser capaz de soportar una fuerza de 800 N, por lo que el diámetro de su vástago debe ser mayor o igual a 15,57 mm; por lo cual en la selección del mismo será un dato a tomar en cuenta.

⁸⁵ Mayor Peso del manto de varillas de producción

⁸⁶ Límite de fluencia del acero: material general de los vástagos en cilindros comerciales.

3.1.16.2 Diseño del diámetro del émbolo.

Tomando en cuenta que la fuerza a ser aplicada sobre el vástago nos referiremos al cálculo del diámetro del émbolo.

Sabiendo que la presión nominal de trabajo es de 6 (*bar*), se define el área del émbolo partiendo de la fórmula 3.38.

$$P_{trabajo} = \frac{F}{A_{embolo}}$$

Fórmula 3.38. Cálculo de Presión de trabajo

Donde el diámetro del émbolo se define en la fórmula 3.39.

$$A_{embolo} = \frac{4\pi}{D^2}$$

$$D = \sqrt{\frac{4F}{\pi P_{trabajo}}}$$

Fórmula 3.39. Cálculo de Diámetro del émbolo

Reemplazando los valores en la fórmula 3.39, se tiene;

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 800}{\pi \cdot 600000}}$$

$$D = 41,20 \text{ (mm)}$$

3.1.16.3 Selección del cilindro neumático.

De acuerdo a los datos obtenidos anteriormente se obtuvo que el cilindro debe cumplir con los siguientes requerimientos técnicos:

- Presión de trabajo: $P_{trabajo} = 6[\text{bar}]$

- Carrera: $C = 100[mm]$
- Diámetro del vástago: $\varnothing_{vástago} \geq 15,57[mm]$
- Diámetro del émbolo: $\varnothing_{émbolo} \geq 41,20[mm]$

Dentro del mercado nacional, FESTO dispone del actuador ADN-50-100-A-P-A, el cual dispone de las siguientes características:

- Presión de trabajo: $P_{trabajo} = 1 - 10[bar]$
- Carrera: $C = 100[mm]$
- Diámetro del vástago: $\varnothing_{vástago} = 16[mm]$
- Diámetro del émbolo: $\varnothing_{émbolo} = 50[mm]$

Cumpliendo con los requisitos necesarios para el sistema.

3.1.16.4 Unidad neumática.

La unidad neumática para el cilindro seleccionado, trata de su válvula electro neumático, además de su circuito de funcionamiento y su unidad de mantenimiento.

3.1.16.4.1 Válvula electro neumática y circuito neumático.

Para la selección de los componentes del circuito neumático se lo va a realizar mediante la herramienta online “INGENIERÍA”, de la página oficial de FESTO⁸⁷. Los datos necesarios para la selección de los componentes son los siguientes:

- Longitud de carrera requerida: 100 mm
- Ángulo de instalación: 90°
- Presión de funcionamiento: 6 bares
- Válvula de estrangulamiento: Sí

⁸⁷ http://www.festo.com/cat/es_es/search?query=adn

- Masa a cargar: 10 Kg

La válvula recomendada de acuerdo al requerimiento del sistema, para el proyecto actual se utiliza una válvula 5×2 , es decir 5 vías dos posiciones, ya que se requiere controlar un cilindro de doble efecto y controlada por bobina de 24 (V).

La válvula solenoide *CPE14-M1BH-5J-1/8* cumple con dichas características y es accesible en el mercado nacional, su diagrama se muestra en la figura 3.30

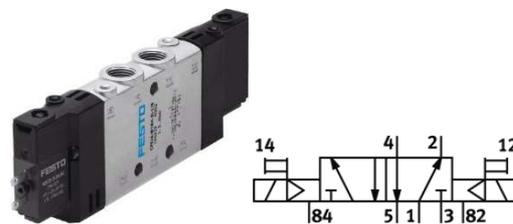


Figura 3.30 Válvula Solenoide FESTO CPE14-M1BH-5J-1/8.⁸⁸

El control de la válvula será realizado mediante el programa del PLC y será dependiente de una bobina de entrada y salida, y de las señales de los sensores magnéticos instalados en el actuador, como se observa en la figura 3.31 que representa el diagrama neumático del cilindro

Además de los otros elementos que componen el circuito neumático que son:

- Válvula de estrangulación de retención: GRLA-1/8-QS-8-D
- Válvula de vías: VUVG-L14-B52-T-G18-1P3
- Tubo flexible: PUN-8x1,25-BL (10 m)
- Silenciador: U -1/8
- Sensores magnéticos de posición: SME-8M-DS-24V-K-2,5

⁸⁸ Automation Studio 5.0, Famic Technologies Inc.

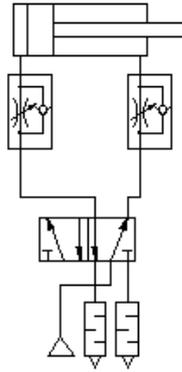


Figura 3.31. Diagrama neumático del cilindro

3.1.16.4.2 Unidad de mantenimiento.

La unidad de mantenimiento en un sistema neumático es de primordial importancia puesto que garantiza la calidad de aire hacia elementos sensibles a partículas de polvo o humedad como son las válvulas y motores. Generalmente el aire comprimido se genera en compresores los cuales toman el aire húmedo y la mayoría de veces no eliminan esta humedad por lo que si se conecta en forma directa lo más probable es que los dispositivos tengan un daño a largo plazo

Por esta razón se recomienda poseer esta unidad para cada equipo la cual está constituida por un filtro lubricador y un regulador. En donde las funciones de cada uno de estos elementos se describen a continuación:

- *Filtro:* Quita los residuos sólidos del aire comprimido, así como la humedad, en el mantenimiento de este equipo se debe eliminar el agua condensada en el filtro para garantizar que el agua no se introduzca en el sistema.
- *Lubricador:* Aceita a los elementos mecánicos presentes en el sistema neumático, este lubricante debe ser de naturaleza mineral, durante el mantenimiento se debe tener el nivel de aceite en el nivel recomendado por el fabricante.

- *Regulador de presión:* Mantiene la presión de trabajo del sistema.

Para el presente proyecto se realizó el montaje de la unidad de mantenimiento P32 Compact Series de 1/2", marca PARKER, la cual cumple con los requerimientos técnicos, y además de encontrarse disponible en las bodegas de la empresa, la figura 3.32 muestra la fotografía de la unidad de mantenimiento que se va utilizar.



Figura 3.32. Unidad de mantenimiento *de media*, marca PARKER.⁸⁹

3.2 DISEÑO ELECTRÓNICO/ELÉCTRICO DEL SISTEMA SEPARADOR.

El diseño electrónico consta principalmente de la selección y programación de los elementos necesarios para la automatización del sistema de acuerdo a los requerimientos del mismo. En dicho diseño se va a tratar de la selección y programación de los siguientes elementos:

- Servo-Sistema que consta del servomotor y su servo-drive.
- La unidad lógica programable (PLC).
- Sensores.

⁸⁹ PARKER. Catálogo 0700P-E, Producto de preparación de aire industrial.2012. p 13.

3.2.1 SERVO-SISTEMA.

Un servo-sistema está formado por un servo motor y un servo drive, estos dos componentes permiten tener un control preciso de velocidad, posición o torque en un sistema. Actualmente los servo sistemas son muy utilizados en sistemas de posicionamiento de precisión como en máquinas C.N.C., bandas transportadoras, robots industriales, entre otras aplicaciones.

3.2.1.1 Parámetros técnicos de selección para el servomotor.

Un servo motor es un motor síncrono de AC sin escobillas, el cual está formado por un estator segmentado de cobre y un rotor formado de imanes permanentes. La característica esencial de un servo motor es que tiene acoplado un encoder absoluto de alta resolución que es el que permite conocer la velocidad y la posición del mismo

Una vez seleccionado el tipo de motor a utilizar, se debe determinar dos parámetros técnicos esenciales para seleccionar el mismo, como son el Torque y Potencia.

3.2.1.1.1 Torque.

Para seleccionar el torque del motor adecuado, es necesario conocer la cantidad de inercia a vencer para producir el movimiento y generar la fuerza de tracción.

La cantidad de inercia a vencer es la conformada por:

- La inercia del tornillo de potencia.
- La inercia generada por la carga axial.

Tomando en cuenta que el torque para vencer la inercia generada por la carga axial, ya se calculó en la sección (par de torsión), Se procede a calcular el torque necesario para vencer la inercia del tornillo como tal.

Considerando al tornillo de potencia como un cilindro macizo, se tiene que la inercia está dada por la fórmula 3.40

$$I = \frac{mr^2}{2}$$

Fórmula 3.40. Cálculo de Inercia de un cilindro

Dónde:

- I , Inercia para un cilindro macizo ($kg\ m^2$).
- m , Masa del cilindro macizo (kg).
- r , Radio del cilindro macizo(m).

Para conocer la masa del tornillo de potencia de bolas 2005-4 seleccionado, se pesó el mismo sin sus apoyos BK12 Y BF12, obteniendo un peso de:

$$m = 4,98\ (kg)$$

Conociendo que el diámetro nominal del tornillo es de 20 (mm) y el valor de su masa calculada anteriormente, se aplica la fórmula 3.40:

$$I = \frac{4,98 \cdot 0,01^2}{2}$$

$$I = 2,49 \times 10^{-4}\ (kg\ m^2)$$

Para obtener el par de momento necesario para vencer la inercia del tornillo de potencia calculada, se plantea la ecuación 3.31:

$$\sum M = \sum I\alpha$$

Fórmula 3.41. Equivalente de Momento - Inercia

Dónde:

- M . Momento (Nm).
- I , Inercia de los elementos a considerar ($kg\ m^2$).
- α , Aceleración angular ($\frac{rad}{s^2}$).

Teniendo en cuenta que la aceleración angular está definida por la fórmula 3.42

$$\alpha = \frac{\omega}{t}$$

Fórmula 3.42. Cálculo de aceleración angular

Dónde:

- α , Aceleración angular ($\frac{rad}{s^2}$).
- ω , Velocidad angular ($\frac{rad}{s}$).
- t , Tiempo de duración (s).

Tomando a la velocidad angular crítica de la sección (velocidad crítica) como el valor máximo que puede tomar el servomotor, se tiene que:

$$\omega = 870,69\ min^{-1}$$

$$\omega = 870,69 \frac{rad}{min} \cdot \frac{1min}{60s}$$

$$\omega = 14,51 \left(\frac{rad}{s} \right)$$

Asumiendo que en un tiempo de 1 segundos, el motor alcanza el valor de $14,51 \left(\frac{rad}{s} \right)$; por tanto reemplazando en la fórmula 3.42, se tiene que:

$$\alpha = \frac{14,51}{1}$$

$$\alpha = 14,51 \left(\frac{rad}{s^2} \right)$$

Reemplazando los valores encontrados de aceleración angular e inercia del tornillo de bolas en la fórmula 3.41, se tiene que:

$$\sum M = 2,49 \times 10^{-4} \cdot 14,51$$

$$\sum M = 0,004 (Nm)$$

Para hallar el torque total necesario para el motor, se plantea la fórmula 3.43

$$T = T_{Carga Axial} + T_{Tornillo}$$

Fórmula 3.43. Cálculo de aceleración angular

Teniendo que $T_{Carga Axial} = 1,85 (Nm)$ y $T_{Tornillo} = 0,004 (Nm)$, se tiene que:

$$T = 1,85 + 0,004$$

$$T = 1,854 (Nm)$$

Tomando en cuenta que la eficiencia del servo-motor es del 70%⁹⁰, al valor del par de torsión encontrado, se debe sumar el 30% de su valor total para garantizar el 100% del valor del mismo en la práctica.

Por tanto el valor del par de torsión real, está definido en la fórmula 3.44:

$$T_{Real} = 1,30 \cdot T_{Teorico}$$

Fórmula 3.44. Cálculo de Torque real

Dónde:

- T_{Real} , Par de torsión real ($N m$).
- $T_{Teorico}$, Par de torsión teórico ($N m$).

Reemplazando los valores encontrados en la fórmula 3.44, se tiene que:

$$T_{Real} = 1,30 \cdot 1,854$$

$$\mathbf{T_{Real} = 2,40 (Nm)}$$

3.2.1.1.2 Potencia.

La potencia requerida para el par de torsión calculado, está definido por la fórmula 3.45:

$$P = \omega T$$

Fórmula 3.45. Cálculo de Potencia requerida

Dónde:

⁹⁰ SJT series AC Servo Motor. 2010. p 1.

- P , Potencia (W).
- ω , Velocidad angular $\left(\frac{rad}{s}\right)$.
- T , Torque (Nm).

Reemplazando los valores encontrados anteriormente en la fórmula 3.45:

$$P = 14,51 \cdot 2,40$$

$$P = 34,82 (W)$$

Tomando en cuenta que el pico de corriente del Servo-motor a carga máxima es de 12 (A)⁹¹ y para asegurar que el estator del mismo no sufra daños por la corriente generada al momento del arranque del motor cuando el mismo vence la inercia del sistema a una velocidad baja, se multiplica la potencia del Servo-motor por el valor de corriente máxima del mismo.

$$P = 34,82 \cdot 12$$

$$P = 383,02 (W)$$

3.2.2 SELECCIÓN DEL SERVO-SISTEMA.

Entre los requerimientos del sistema y los parámetros técnicos del servomotor, se tiene los siguientes requerimientos para el servo-sistema:

- Control de precisión de posición y velocidad.
- Servomotor mayor o igual de 2,4 Nm de torque y $\frac{1}{2}$ HP de potencia.

⁹¹ SJT series AC Servo Motor. 2010. p 1.

De acuerdo a estos requerimientos, disponibilidad y precios de los equipos en el mercado nacional, se seleccionó el servo-sistema de la marca *XINJE* servo-motor *80SJT-M024C* y servo-drive *D098B*, dichos elementos son compatibles entre sí y presentan características de control avanzadas, la figura 3.33 muestra una imagen del servo motor, y servo drive utilizados.



Figura 3.33 Servo-Motor 80SJT-M024C y servo-drive D098B.⁹²

Las características principales del servo-sistema se exponen en la tabla 3.11, observando que dichas características cumplen y sobrepasan los requerimientos del sistema.

| EQUIPO | CARACTERÍSTICAS | VALOR |
|------------------------------|--|------------------------|
| Servomotor | Encoder absoluto | 2500 PPR ⁹³ |
| | Torque nominal | 2,4 Nm |
| | Potencia | 0,7 HP |
| Medición de variables | Temperatura del Motor | ° C |
| | Torque ejercido por el eje del motor | Nm |
| | Velocidad de rotación del eje del motor | RPM |
| | Posición absoluta de la posición del motor | PPR |
| Servo-driver | Control de precisión de posición de 0,001 mm | |
| | Control de precisión de velocidad. | |
| | Control de orientación de giro. | |

Tabla 3.11 Características principales del servo-sistema XINJE- DS21P5.⁹⁴

⁹² Fuente: SJT series AC Servo Motor. 2010. p 1.

⁹³ PPR: Pulsos por revolución

3.2.3.1 Servo-motor GSK 80SJT-M024C.

El servomotor GSK 80SJT-M024C posee dos terminales de conexión, uno para la energización del mismo y otro para la señal de encoder y otros sensores integrados en la estructura interna del servomotor, estos dos cables de conexión serán conectados hacia el servo-drive, el cual realizará el control del mismo.

Las características técnicas del servo-motor se exponen a en la tabla 3.12

| PARÁMETRO | CAPACIDAD |
|--------------------|-----------------------------|
| Potencia | 0,5 Kw |
| Corriente promedio | 3 ^a |
| Velocidad promedio | 2000 RPM |
| Máxima velocidad | 2500 RPM |
| Torque promedio | 2,4 Nm |
| Torque pico | 7,2 Nm |
| Inercia del rotor | 0,83x10e-4 kgm ² |
| Peso | 2,8 kg |

Tabla 3.12 Parámetros técnicos del servo-motor XINJE- MSJ130STM06025.⁹⁵

3.2.2.2 Servo-drive GSK DB098A.

Este dispositivo es un amplificador de señal, el cual interpreta las señales de un transductor rotativo denominado encoder que está integrado al servo-motor y el cual controla posición, sentido de giro y velocidad del mismo.

El funcionamiento para el control del servo-drive y por ende del servo-motor, trata de que el servo-drive reciba señales de pulsos por medio de un controlador lógico programable (PLC), controladores numéricos o interfaces computacionales que permitan generar trenes de pulsos, en donde el control de velocidad y posición, está dado por los siguientes consideraciones:

⁹⁴ Fuente: Propia.

⁹⁵ Fuente: SJT series AC Servo Motor. 2010. p 3.

- Control de velocidad: Frecuencia de trabajo del PWM (Tren de pulsos).
- Control de posición: Número de pulsos.

Además de recibir señales de flanco positivo y negativo para su energización, y activación de velocidades internas programadas en el servo drive.

Es conveniente destacar que es indispensable seleccionar el servo-drive compatible con el servo-motor, manufacturados por la misma empresa fabricante. Puesto que si se selecciona un servo-drive con aplicaciones que no posee el servo-motor, los dos elementos quedarán inservibles ya que no se podrá utilizar al máximo el potencial de ninguno de los dos, además de que el servo-driver al amplificar señales de voltaje y corriente hacia el motor, y si estas superan valores máximos se producirá un daño interno en el servo-motor.

De acuerdo al funcionamiento que requiera el sistema, el servo-drive puede ser programado para trabajar en control de velocidad ó posición.

Hay que tomar en cuenta las recomendaciones de instalación del servo-drive, propuestas por el fabricante para el óptimo funcionamiento del mismo.

Las características técnicas del servo-drive se muestran en la tabla 3.13.

| CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS SERVO DRIVE | |
|---|---------------------------------|
| PARÁMETRO | CAPACIDAD |
| Voltaje de alimentación | 3 Fase 200 -240 V~ |
| Frecuencia | 50 Hz/ 60 Hz |
| Corriente de entrada | 10 ^a |
| Temperatura | 0~+50°C/-20~+85°C |
| Humedad | Bajo a 90% RH (No condensación) |
| Encoder | Encoder incremental 2500 PPR |

| CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS SERVO DRIVE (CONTINUACIÓN) | |
|--|---|
| Control | Posición y velocidad. |
| Comunicación | COM1: Velocidad de transmisión 19200 Bauds, 8 bits, stop bits 1; protocolo: ModbusRTU, número de estación N°1 |
| | COM2: RS485 conexión plc, hmi, pc o cualquier otro dispositivo que soporte dicha comunicación. |

Tabla 3.13 Parámetros técnicos del servo-drive GSK D098B.⁹⁶

3.2.3 CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE – PLC.

El controlador en el sistema será el encargado de realizar el posicionamiento el sistema separador además de controlar el accionamiento del cilindro neumático.

3.2.3.1 Selección del PLC.

Tomando en cuenta la marca del servo-sistema, se elige un PLC de marca XINJE por su compatibilidad con el servo-sistema, recomendación de la empresa proveedora, y por su bajo costo.

El PLC seleccionado es de la marca *XINJE XC324RT* como se mencionó anteriormente, su alimentación es de 100~240V AC, su frecuencia de trabajo es de 50/60Hz y posee dos puertos de comunicación COM1 y COM2. La figura 3.34 muestra una imagen del PLC Xinje XC324RT.

⁹⁶ Fuente: SJT series AC Servo Motor. 2010. p 3.



Figura 3.34. PLC - XINJE XC324RT.⁹⁷

Tomando en cuenta que el puerto COM1 tiene protocolo RS232, el cual se lo utiliza para la descarga del programa desde la PC al PLC, así como la conexión del mismo con una interfaz HMI y el puerto COM2 tiene un protocolo RS232/RS485, el cual se lo utiliza para la comunicación en red entre varios PLC's.

Este PLC además de ser recomendado por el proveedor del sistema servomotor-servodrive, es compatible con el protocolo de comunicación del software Labview (modbus), por lo que no se necesita ningún modulo aparte para comunicar Labview con el PLC.

En la tabla 3.14 se muestran las características técnicas del PLC.

| CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS PLC | |
|---|--------------------------|
| PARÁMETROS | ESPECIFICACIÓN |
| Forma de ejecución del programa | Forma de lazo cíclico. |
| Forma de programación | Escalera, Instrucciones. |
| Protocolo de comunicación | Modbus/CAN |
| Espacio de programa para usuario | 128K. |
| Entradas | 14, X0-X15. |
| Salidas | 10, Y0-Y11. |

⁹⁷ <http://www.asia.ru/en/ProductInfo/1021665.html>. PLC XINJE. Español.

| CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS PLC (CONTINUACIÓN) | |
|--|---|
| Bobinas internas X | X0-X1037. |
| Bobinas internas Y | Y0-Y1037. |
| Memorias internas M | M0-M2999. |
| Registro word | S0-S511. |
| Timer | T0-T199 100ms no acumulativo. |
| | T100-T199 100ms acumulado. |
| | T300-T399 10ms acumulado. |
| | T400-T499 1ms no acumulado. |
| | T500-T599 1ms acumulado. |
| | T600-T639 1ms tiempo preciso. |
| Contador | C0-C299 16 contador secuencial 16bits. |
| | C300-C598 32 bits secuencial/ contador inverso. |
| | C600-C619 Contador de alta velocidad fase simple. |
| | C620-C629 Contador de alta velocidad dos fases. |

Tabla 3.14 Características técnicas del PLC XINJE XC324RT.⁹⁸

3.2.4 SENSORES.

Los únicos sensores que se utilizará en el sistema serán utilizados para asegurar que el carro no se choque en sus extremos a lo largo de las guías.

Los sensores relacionados con la medición del torque del eje del motor, la temperatura del motor y la velocidad del mismo son sensores propios del servo-sistema, que se encuentran internamente en el servo-motor y son interpretados por el servo-drive.

3.2.4.1 Finales de carrera.

Tomando en cuenta que lo más común para colocar topes en una distancia efectiva son finales de carrera, que son sensores mecánicos que se activan por el

⁹⁸ Fuente: Propia.

contacto entre el elemento y la palanca de activación del mismo, dicha activación tiene un tiempo de respuesta de acuerdo a la estructura de cada final de carrera y tomando en cuenta que de acuerdo a la rapidez de respuesta del sensor el carro va a seguir o se va a detener, es necesario una rapidez inmediata para detener el carro y que la precisión del sistema no se pierda. Dicho requerimiento no se lo puedo lograr a través de una respuesta mecánica, por lo que se busca una respuesta electrónica a través de un sensor inductivo, que es más confiable en su rapidez en respuesta.



Figura 3.35. Sensor Inductivo PEPPERL+FULCH, NBB8-19GM50.

Según las necesidades del sistema es necesario un sensor inductivo con una distancia de detección menor a los 10 mm, encapuchada y sabiendo que la activación de salidas de transistores del PLC, son NPN, se selecciona un sensor inductivo de marca PEPPERL+FULCH, NBB8-19GM50, por cumplir con las especificaciones técnicas requeridas, además de encontrarse disponible en las bodegas de la empresa. La figura 3.35 muestra una imagen del sensor usado para el desarrollo del presente proyecto.

3.3 DISEÑO DEL SISTEMA DE VISIÓN ARTIFICIAL

La figura 3.36, indica las tres etapas fundamentales dentro de un sistema de visión artificial. Adquisición de imagen que se encuentra el nivel de hardware (cámara,

lentes, iluminación), procesamiento de imagen, que se encuentra dentro del nivel de software al igual que la etapa final, de la comunicación.

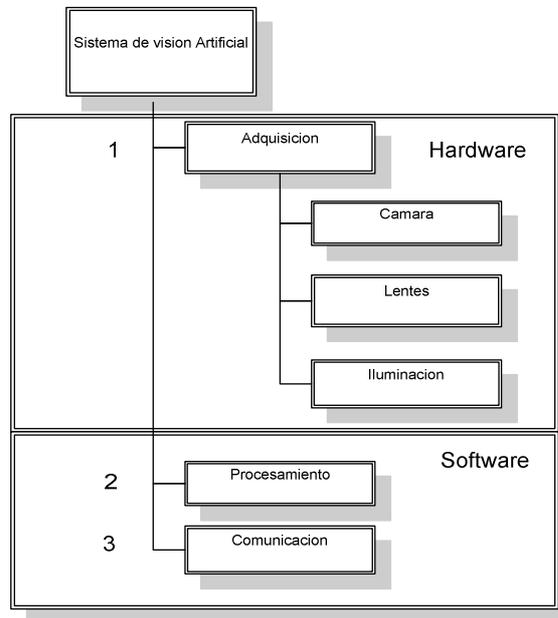


Figura 3.36 Etapas de visión artificial ⁹⁹

Para alcanzar los objetivos planteados en este proyecto (inciso 1.4), se usará la metodología científica en el diseño del sistema de visión artificial, basado en el análisis, diseño, implementación (refiérase al capítulo 5) y evaluación (refiérase al capítulo 5).

- En la fase de análisis se estudiarán las posibles alternativas de dispositivos de adquisición, e iluminación disponibles en el mercado.
- En la fase de diseño, sobre la base de la alternativa seleccionada, se seleccionará el equipo más adecuado para satisfacer las necesidades del proyecto, en el nivel de software se determinará el algoritmo más adecuado para el conteo de varillas, modos de funcionamiento, comunicación entre el sistema de visión y el separador mecánico antes diseñado y se desarrollará la interfaz de comunicación, a través de una programación visual gráfica

⁹⁹ Fuente Propia

- En la fase de implementación, se integrarán los componentes en un solo sistema capaz de controlar el movimiento del separador mecánico diseñado.
- En la fase de evaluación se valorará la eficiencia y exactitud del sistema de conteo mediante visión artificial en base a pruebas que permitan identificar las condiciones de seteo adecuadas para su funcionamiento.

La figura 3.37 muestra el diagrama de flujo para el diseño del sistema de visión artificial.

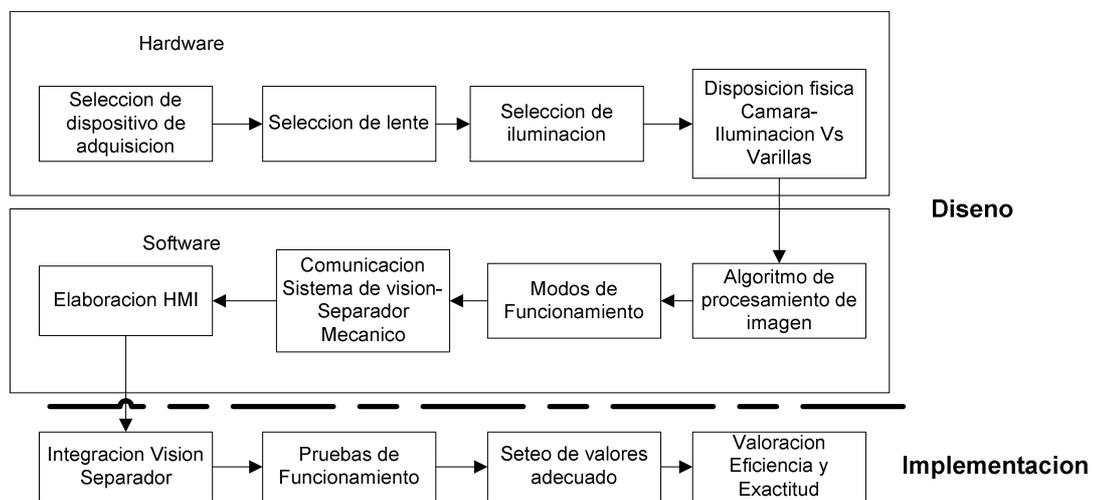


Figura 3.37 Diagrama de flujo Diseño del sistema de visión artificial ¹⁰⁰

3.3.1 DISEÑO DEL HARDWARE DEL SISTEMA DE VISIÓN ARTIFICIAL

El hardware comprende la etapa de adquisición, siendo esta la parte fundamental del sistema de visión artificial, ya que de ella depende la obtención de datos necesarios para el conteo, y posteriormente la separación de las varillas.

Para lograr la adquisición de una buena calidad de imagen se necesita tomar varios puntos en cuenta, como la correcta selección de cámara, lentes y lo más importante en un proyecto de visión artificial, la iluminación. Estos tres elementos antes

¹⁰⁰ Fuente Propia

mencionados conforman el nivel de hardware necesario para adquirir una imagen. La figura 3.38 nos muestra un diagrama de la composición física de la adquisición de imagen.

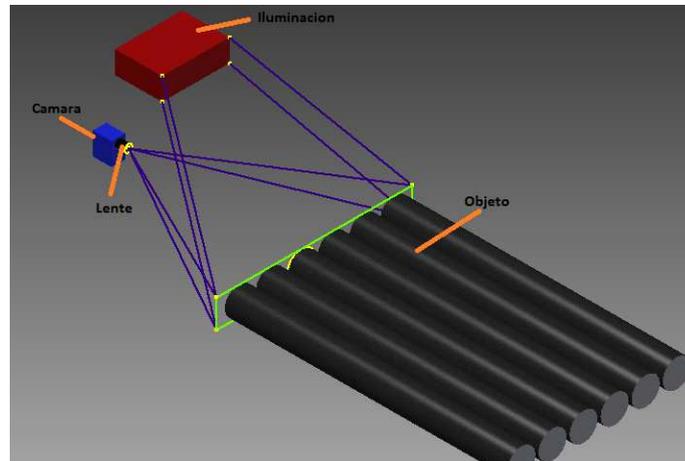


Figura 3.38 Esquema de composición física Adquisición ¹⁰¹

La figura 3.39 muestra el diagrama de flujo que se va a seguir para el proceso de diseño del hardware necesarios para la adquisición de imagen.

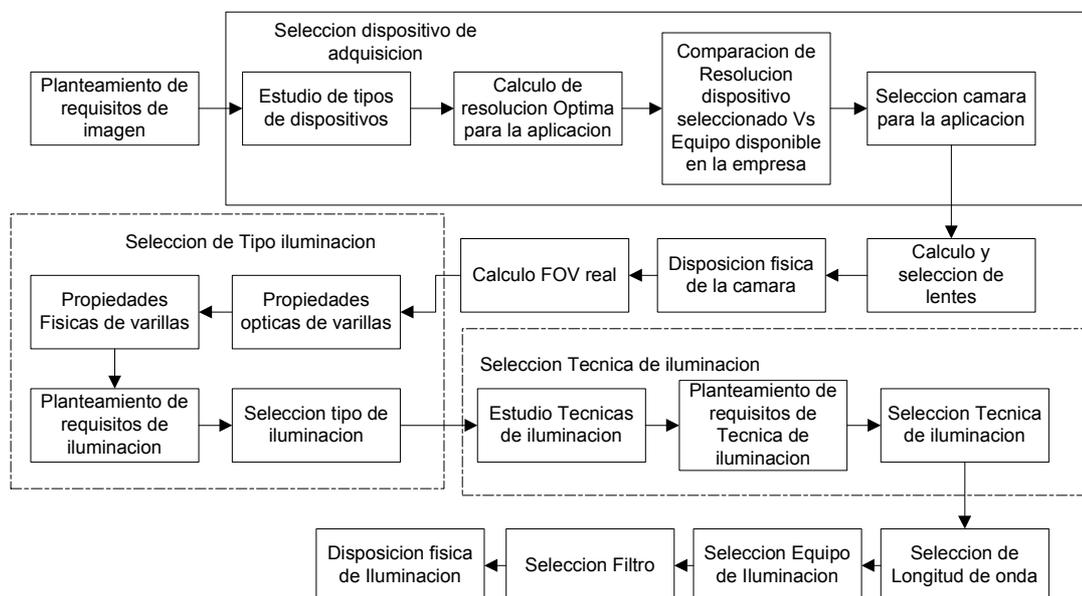


Figura 3.39 Diagrama de flujo proceso de diseño hardware de adquisición ¹⁰²

¹⁰¹ Fuente Propia

¹⁰² Fuente Propia

3.3.1.1 Planteamiento de requisitos de imagen

Para el caso del presente proyecto, los requisitos fundamentales que debe cumplir las imágenes se encuentran detalladas en la tabla 3.15.

| REQUISITOS DE IMAGEN |
|--|
| Cubrir un campo de visión, lo suficientemente amplio para la captura del manto total de varillas (900mm) |
| Poseer un formato de fácil conversión para agilizar el procesamiento. |
| Tener una resolución adecuada para la identificación del perfil de las varillas. |
| Ser una imagen en escala de grises. |
| Tener un contraste notable entre el objeto a analizar (varillas) y el fondo de la imagen |
| Tener una variabilidad mínima en cuanto a su histograma ¹⁰³ durante todo el día. |
| En cuanto a los dispositivos, debe poseer una interfaz de comunicación sencilla. |

Tabla 3.15 Requisitos de la imagen para la aplicación¹⁰⁴

3.3.1.2 Análisis y selección de dispositivos de adquisición de imágenes.

Uno de los requerimientos esenciales aparte de que debe adquirir una buena calidad de imagen con los requisitos descritos en la tabla 3.15, es que debe ser un dispositivo de ámbito industrial, robusto y resistente, expuesto a posibles golpes, calor y un ritmo de trabajo constante de 24 horas los 7 días de la semana los 360 días del año.

En la actualidad el mercado ofrece una variedad de cámaras industriales (robustas, resistentes al polvo, sol, impactos, lluvia, largas jornadas de trabajo continuo, temperaturas altas), con muy altas prestaciones, los dispositivos más utilizados y disponibles en el mercado son los siguientes:

- Cámaras monocromáticas
- Cámaras a color
- Cámaras infrarrojas
- Cámaras inteligentes

¹⁰³ Histograma: consiste en una gráfica donde se muestra en número de píxeles, de cada nivel de gris que aparecen en una imagen. Fuente : <http://alojamientos.us.es/gtocom/pid/tema1-2.pdf>, Introducción a imágenes digitales, segunda parte.

¹⁰⁴ Fuente Propia

En base a la investigación realizada de las diferentes cámaras antes mencionadas, se ha elaborado un cuadro comparativo, descrito en la tabla 3.16.

| CAMARAS | | | | | |
|---------------------------------|-------------------|------------------------|-------------------------|------------------------|---|
| Característica | | Monocroma | Color | Infrarrojas | Inteligente |
| Sensor | Tipo | Monocromo | RGB | Infrarrojo | monocromo- RGB |
| | Tecnología | CCD-CMOS | CCD- CMOS | Infrarroja | CCD-CMOS |
| Escala | Tipo | Gris | Rojo- Verde- Azul | Rojo-Verde- Azul | Rojo-Verde- Azul-Gris- infrarrojo |
| | Rango | 8bits | 8bits | 8bits | 8-32 bits |
| Longitud de onda | | Media | 400-700 nm | 2000-14000 nm | 400-1000 nm |
| Resolución | Rango | 160x120 a 4872x3248 | 160x120 a 4872x3248 | 160x120 a 4872x3248 | 160x120 a 4872x3249 |
| CÁMARAS (CONTINUACIÓN) | | | | | |
| Velocidad de adquisición | | 3-1000 fs | 3-1000 fs | 3-1000 fs | 3-1000 fs |
| Conexión | | Analógico | Analógico | Analógico | Analógico |
| | | LVDS | LVDS | LVDS | LVDS |
| | | CameraLink | CameraLink | CameraLink | CameraLink |
| | | FireWire | FireWire | FireWire | FireWire |
| | | USB2 | USB2 | USB2 | USB3 |
| | | Ethernet | Ethernet | Ethernet | Ethernet |
| | | GigE Vision | GigE Vision | GigE Vision | GigE Vision |
| Procesador Incorporado | | NO | NO | NO | SI |

Tabla 3.16 Cuadro comparativo tipos de cámara industriales ¹⁰⁵

3.3.1.2.1 Cálculo de resolución de cámara.

La resolución de un dispositivo de adquisición de imagen, es uno de los factores más importantes dentro del diseño de un sistema de visión, de esta depende la calidad y por ende la información que una imagen lleve para ser procesada.

¹⁰⁵ Elaboración Propia, Fuente Varias.

Los parámetros de diseño necesarios para el cálculo de la resolución de un dispositivo de adquisición de imagen, aplicados al objetivo de conteo de varillas, se encuentran detallados en la tabla 3.17.

| ÍTEM | VALOR [MM] |
|--|---------------|
| Campo de visión Horizontal (FOV1) | 900 |
| Campo de visión Vertical (FOV2) | 180 |
| Tamaño de características más pequeña ¹⁰⁶ | 0,50 |

Tabla 3.17 Parámetros de diseño Resolución de cámara¹⁰⁷

Para el cálculo de la resolución óptima para la aplicación se usa la fórmula 3.46

$$Resolucion\ del\ sensor[pixels] = \frac{FOV_{1,2}}{Size\ of\ smallest\ Feature} * 2$$

Fórmula 3.46 Resolución del sensor¹⁰⁸

Aplicando la fórmula anterior obtenemos:

Resolución Horizontal: 3600 pixeles

Resolución Vertical: 720 pixeles

La resolución óptima de la cámara debe ser **3600x720 pixeles**.

3.3.1.2.2 Selección de la cámara.

De acuerdo al cuadro comparativo de la tabla 3.16, parámetros establecidos en la tabla 3.15 donde se demuestra los requerimientos de la imagen deseada para la aplicación, y dato de resolución necesaria para la aplicación, se ha llegado a formar una matriz de selección (Tabla 3.18) del tipo de cámara más idóneo, Para la escala de

¹⁰⁶ Espacio más pequeño entre las cada varilla en el manto.

¹⁰⁷ Fuente Propia

¹⁰⁸ Manual visión artificial Labview

selección de la matriz tenemos los siguientes valores del 1 al 10, siendo 10 el valor más alto y conveniente y 70 el máximo que un tipo de cámara puede alcanzar.

| CAMARA | | | | |
|---|------------------|--------------|----------------|--------------------|
| REQUISITOS DE IMAGEN | MONOCROMA | COLOR | TERMICA | INTELIGENTE |
| Campo de visión amplio | 10 * | 10* | 8 | 10* |
| Formato de Imagen fácil conversión | 9 | 9 | 7 | 10 |
| Alto contraste del objeto a examinar y el fondo de la imagen | 8** | 6** | 10 | 8** |
| Imagen a escala de Grises | 10 | 0 | 10 | 10 |
| Variabilidad mínima del histograma durante todo el día | 9** | 7** | 10 | 9** |
| Interfaz de comunicación sencilla | 8 | 8 | 5 | 8 |
| Costo | 8 | 10 | 5 | 6 |
| TOTAL | 62 | 50 | 55 | 61 |
| * Depende del tipo de lente que se use | | | | |
| Selección de Cámaras (Continuación) | | | | |
| ** Depende del tipo de la configuración cámara – | | | | |

iluminación

Tabla 3.18 Análisis y selección de tipo de cámara.¹⁰⁹

En base a la tabla 3.18 se concluye que la mejor alternativa para el sistema de visión, es la utilización de una cámara monocroma de resolución 3600x720 pixeles. Tomando en cuenta que se debe hacer una correcta selección de lentes e iluminación para alcanzar los requisitos de imagen necesarios para la aplicación de este proyecto.

Dado que uno de los requerimientos de la empresa para el desarrollo de este proyecto, es la utilización de los equipos ya disponibles dentro de la empresa para minimizar costos en la implementación de este prototipo, se considerará usar la cámara inteligente NI 1722 previamente adquirida para el proyecto.

Para considerar el uso de la cámara que dispone la empresa, se necesitan los datos técnicos de la Smart Cámara NI 1722 que se encuentran detallados en la tabla 3.19.

| CÁMARA NI 1722 | |
|--------------------------|-------------------|
| Modelo: | NI 1722 |
| Tipo: | Monocroma |
| Serial Number: | 014178E2 |
| MAC Address: | 00:80:2f:11:a1:93 |
| Consumo de poder | 24VDC, 450 Ma |
| Procesador | 400MhZ Power PC |
| Memoria | 128MB |
| Resolución | 640x480 |
| Full Scan | 640x480 |
| 1/2 Scan | 640x240 |
| 1/4 Scan | 640x120 |
| Binning (1x2) | 640x240 |
| Tamaño del sensor | 1/3" CCD |
| Horizontal | 4,8mm |
| Vertical | 3,6mm |
| Diagonal | 6,0mm |

¹⁰⁹ Fuente Propia

| | |
|--|----------------|
| Profundidad del pixel | 8-bit |
| Tamaño del pixel | 7,4x7,4um |
| Velocidad de adquisición | 60 fps |
| 1/2 Scan | 109 fps |
| 1/4 Scan | 175 fps |
| Binning (1x2) | 114 fps |
| Mínimo de tiempo de exposición | 36,3 us |
| Ethernet I/O Support | 2x 10/100/1000 |
| RS232 | SI |
| Rango de temperatura de operación | 0 - 45 °C |
| Montaje de lente | Tipo C |

Tabla 3.19 Especificaciones técnicas Smart Camara NI 1722¹¹⁰

Comparando la tabla 3.18 y 3.19 se ve que la cámara NI 1722 cumplen con las puntuaciones más altas para la selección de dispositivo de adquisición, esto es, ser monocroma e inteligente. No cumple con el requerimiento de resolución necesaria para la aplicación, a pesar de ello se usará esta cámara en el desarrollo del proyecto por ser requisito de la empresa el uso de los dispositivos con los que ya cuenta, advirtiendo que podría existir un problema de conteo debido a la resolución de las imágenes que esta cámara adquiere. Además conlleva una limitante en el diseño tanto de interfaz como comunicación del sistema de visión.

La tabla 3.20 resume la cámara que será usada en el diseño y desarrollo del proyecto.

| Cámara Teórica | Cámara de Ingeniería | Cámara real |
|-----------------------|-----------------------------|----------------------------|
| Tipo Monocromo | Tipo Monocromo | Tipo Smart NI 1722 |
| Resolución: 3600x720 | Resolución:+5% 3780x756 | Resolución 640x480 pixeles |

Tabla 3.20 Cámara para el proyecto¹¹¹

¹¹⁰ Extraído de Manual Smart Cámara NI 1722

¹¹¹ Fuente propia

3.3.1.3 Selección de lentes

Para saber exactamente que óptica debe utilizar para la aplicación, se debe tener en cuenta una serie de parámetros, el tamaño del sensor de la cámara, distancia que estará el objeto de la cámara y por último se debe conocer el campo de visión que deseamos abarcar en nuestra aplicación ¹¹², es decir, se debe tomar en cuenta datos de la cámara, descritos en la tabla 3.19, el campo de visión para la aplicación descritos en la tabla 3.17 y el dato de distancia, a la cual se piensa colocar la cámara.

La figura 3.40 muestra la disposición que se piensa tener en cuanto distancia de cámara y objeto, siendo esta de 1500mm. Este dato se lo obtuvo del espacio disponible para la implementación del sistema de visión en base a un levantamiento realizado por los autores de este documento.

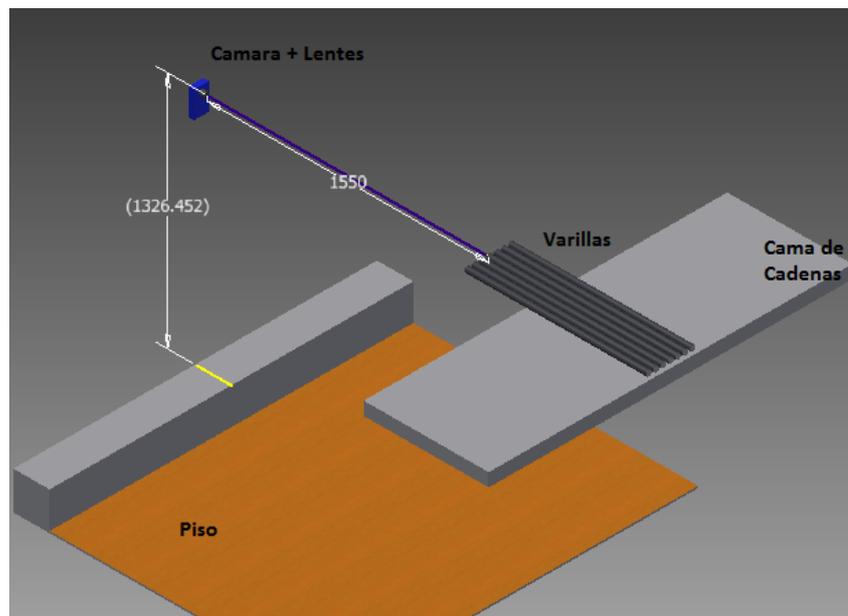


Figura 3.40 Disposición física de la cámara y varillas.¹¹³

¹¹² <http://www.infaimon.com/catalogo-industria/opticas-lentes-filtros-59.html>, Ópticas-Lentes-Filtros, Español.

¹¹³ Fuente Propia

Tomando en cuenta los datos antes mencionado se procede al cálculo del lente necesario, para lo cual se usará la fórmula 3.47 para el cálculo de la longitud focal.

$$\text{Longitud Focal} = \frac{\text{Tamano del sensor} * \text{Distancia de trabajo}}{\text{Campo de vision}}$$

Fórmula 3.47. Determinación de la Longitud Focal¹¹⁴

Aplicando la Fórmula 3.47 se obtiene:

$$\text{Longitud Focal} = \frac{4,8 * 1500}{900}$$

$$\text{Longitud Focal} = 8$$

La longitud focal de los lentes para abarcar el campo de visión necesario para la aplicación, usando la Smart cámara NI1722 se resume en la tabla 3.21.

| Dato Teórico | Dato de Ingeniería | Dato Comercial |
|-----------------------|-----------------------------|-----------------------|
| Longitud Focal | Longitud Focal + 10% | 6 – 8 – 10 |
| 8mm | 8,8 mm | 8mm |

Tabla 3.21 Longitud Focal del lente para el proyecto¹¹⁵

Para el desarrollo del proyecto se usará los lentes computar M0814-MP2, el tipo de montaje debe ser compatible con la cámara, sus especificaciones técnicas se detallan en la tabla 3.22

| LENTEs M0814-MP2 | | |
|-------------------------|-------------|-----------|
| Longitud Focal | 8mm | |
| Rango de | <i>Iris</i> | F1.4-F16C |

¹¹⁴ Manual Vision Artificial Labview

¹¹⁵ Fuente Propia

| | | |
|---------------------------------|---------------|----------|
| operación | <i>Focus</i> | 0.1m-Inf |
| Control | <i>Iris</i> | Manual |
| | <i>Focus</i> | Manual |
| Angulo de Imagen | <i>D</i> | 67.1 |
| | <i>H</i> | 56.3 |
| | <i>V</i> | 43.7 |
| Temperatura de Operación | -10 C a 50 C | |
| Distorsión | -0.1% | |
| LENTES (CONTINUACIÓN) | | |
| Montaje | Tipo C | |
| Tamaño del filtro | M30.5 P=0.5mm | |

Tabla 3.22 Datos técnicos Lente Computar M0814-MP2 ¹¹⁶

3.3.1.4 Disposición de la cámara

Habiéndose calculado la longitud focal y teniendo en cuenta el espacio disponible para la implementación del sistema de visión, la figura 3.41 muestra la disposición de la cámara con respecto a las varillas y el espacio disponible para la implementación. Tomando en cuenta que esta debe estar perpendicular a las varillas para de esta manera tener una medida correcta y real en el eje transversal de las varillas.

¹¹⁶ Extracto de Computar M0814-MP2 Data Sheet

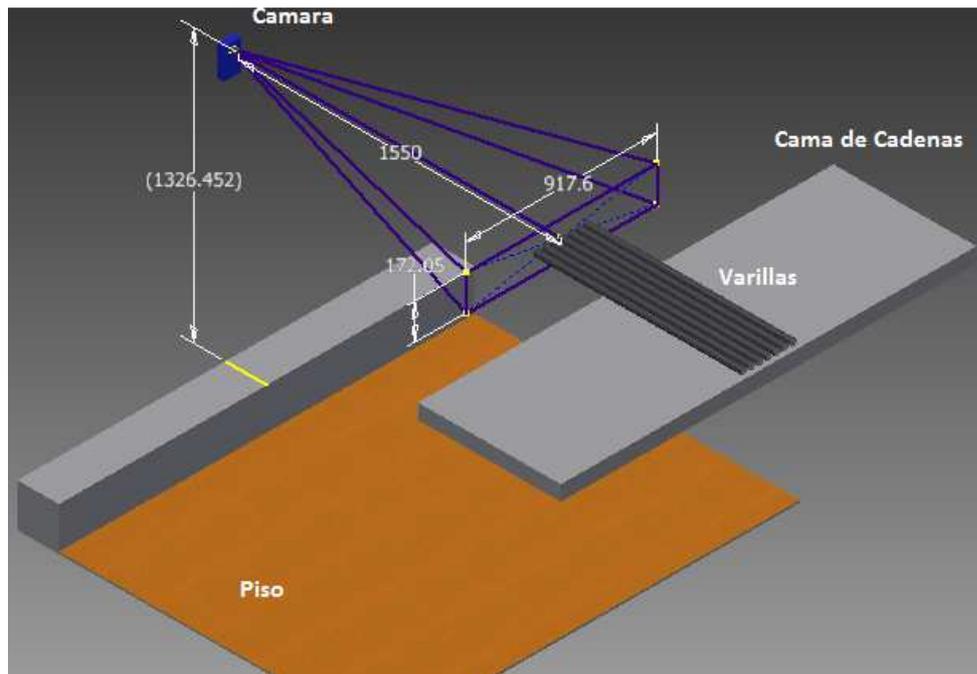


Figura 3.41 Distribución de cámara Vs varillas¹¹⁷

Para el cálculo de la distancia real que debe haber entre la cámara y las varillas, se usó la fórmula 3. 48.

$$FOV = \frac{\text{Tamano del pixel} * \text{Resolucion} * \text{Distancia de trabajo}}{\text{Longitud Focal}}$$

Fórmula 3.48 Determinación de la distancia de trabajo.¹¹⁸

Mediante el uso de la Fórmula 3.48 y los datos de las especificaciones técnicas de la cámara (Tabla 3.19) y los datos de la Tabla 3.17 se elaboró la tabla 3.23 para determinar la relación entre distancia de trabajo y FOV reales en base a los cámara y lentes diseñados anteriormente.

| Distancia de trabajo [mm] | FOV [mm] | |
|---------------------------|------------|----------|
| | Horizontal | Vertical |
| 300 | 177.6 | 33.3 |
| 600 | 355.2 | 66.6 |

¹¹⁷ Fuente Propia

¹¹⁸ Manual Vision Artificial Labview

| | | |
|-------------|--------------|---------------|
| 900 | 532.8 | 99.9 |
| 1200 | 710.4 | 133.2 |
| 1500 | 888 | 166.5 |
| 1550 | 917.6 | 172.05 |
| 1800 | 1065.6 | 199.8 |

Tabla 3.23 FOV horizontal y Vertical¹¹⁹

Obteniéndose como resultado que la distancia de trabajo apropiada entre la cámara y las varillas para la aplicación es de **1550mm** con lo cual se abarca una FOV horizontal y vertical de 917.6mm y 172.05 mm respectivamente, la tabla 3.24 muestra los datos reales para la aplicación.

| DATO TEÓRICO [mm] | DATO DE INGENIERÍA [mm] | DATO REAL [mm] |
|-------------------------------------|------------------------------------|---------------------------|
| Distancia de trabajo “D” | Distancia+ 5% | Distancia |
| 1500 | 1627 | 1550 |
| FOV Horizontal “FovH” | | |
| 900 | 945 | 917.60 |
| FOV Vertical “FovV” | | |
| 180 | 189 | 172.05 |

Tabla 3.24 Distancia entre Cámara y varillas para el proyecto¹²⁰

3.3.1.5 Selección tipo y técnica de iluminación

El tipo de iluminación es la parte más crítica y sensible de un proyecto de visión artificial, ya que dependiendo de esta se obtiene calidad de imagen donde no se pierde información para el procesamiento digital.

¹¹⁹ Fuente propia

¹²⁰ Fuente Propia

Es una pérdida de tiempo y recursos tratar de cambiar la iluminación por filtros o algoritmos digitales mediante la manipulación digital de la imagen.

Existen varias tipos y técnicas de iluminación para obtener los resultados necesarios de imagen requeridos, es decir, lograr un determinado tipo de contraste, y como es en el caso de este proyecto, lograr una variabilidad mínima en el histograma de la imagen durante todo el día sin importar las condiciones ambientales que se presenten (soleado, nublado, noche, día, etc.)

El tema de iluminación va ligado del tipo de objeto a iluminar, siendo su propósito controlar la forma en que la cámara va a ver el objeto. La luz se refleja de forma distinta dependiendo de cada objeto por tanto debe ajustarse al objeto a iluminar. Esto nos lleva al análisis de las propiedades de las varillas de acero que deseamos contar.

La figura 3.42 muestra el diagrama del proceso de diseño que se seguirá para seleccionar el tipo y la técnica de iluminación más adecuada para el proyecto.

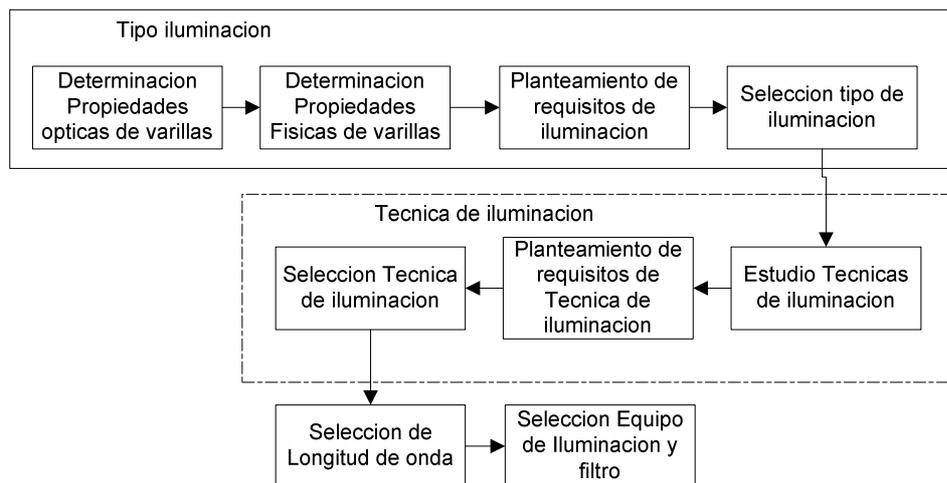


Figura 3.42 Diagrama de flujo proceso de diseño de Iluminación¹²¹

¹²¹ Manual Vision Artificial Labview

3.3.1.5.1 Propiedades de las varillas de acero.

En la tabla 1.1 se especifica el diámetro y peso de cada una de las varillas corrugadas de acero que la empresa ANDEC fabrica, en este apartado se estudiarán las propiedades ópticas, es decir su comportamiento con respecto a la luz y las propiedades físicas de las varillas de acero, centrándonos específicamente en la forma.

La tabla 3.25 indica las propiedades ópticas y físicas que presenta las varillas de acero.

| Propiedad | | Valor |
|------------------|-------------------------|------------------------------|
| Óptica | Transparencia | 0% |
| | Opacidad | 100% |
| | Color | Gris Opaco- Gris claro |
| | Reflexión | 25-30% |
| | Absorción | 70-75% |
| Física | Forma del perfil | Variable |

Tabla 3.25 Propiedades ópticas y físicas varillas de acero ¹²²

Es de conocimiento general las propiedades físicas de las varillas de acero, es decir su densidad, punto de fusión, resistencia, etc. En este apartado nos regiremos estrictamente a la forma y color del corte de las varillas de acero luego de haber pasado por el proceso de corte por cizalla.

El perfil de corte de la cizalla no es en forma perpendicular, dado al proceso, manejo, material e incluso al operario de la cizalla, el corte varia de varilla en varilla, y muchas veces varia en el color del corte, entre un gris brillante y un gris opaco, la figura 3.43 muestra un ejemplo de la variabilidad en forma del perfil y color de corte de las varillas corrugadas elaboradas por la empresa.

¹²² Elaboración Propia, Fuente Varios



Figura 3.43 Variabilidad de corte y color perfil de varillas Corrugadas¹²³

Dada la variabilidad del perfil y color de cada corte, intrínseco por el proceso de elaboración de varillas corrugadas, convierte a las varillas de acero corrugado, en un objeto no determinístico, es decir no se puede dar una característica común en el corte de su sección transversal realizada por la cizalla.

3.3.1.5.2 Planteamiento de requisitos del tipo de iluminación.

Para la selección del tipo de iluminación se han establecido parámetros selección de acuerdo a las propiedades ópticas y físicas de las varillas de acero, descritas en la tabla 3.26

| REQUISITOS MÍNIMOS DE LA ILUMINACIÓN |
|---|
| Fuente de luz fría |
| Uniformidad de intensidad de luz en su campo de acción. |
| Durabilidad |
| Espacio de montaje reducido |
| No presentar Efecto parpadeo. |
| Horas de vida >100.000 horas |

Tabla 3.26 Requisitos mínimos de la iluminación¹²⁴

¹²³ Manual Vision Artificial Labview

¹²⁴ Fuente Propia

3.3.1.5.3 Selección del tipo de iluminación.

De acuerdo con el estudio e investigación de las alternativas Iluminación que se encuentran vigentes a nivel mundial, tomando en cuenta las propiedades ópticas de las varillas de acero, se ha llegado a formar una matriz de selección, tabla 3.27 para escoger el tipo de iluminación óptimo para la aplicación, partiendo de parámetros establecidos por nosotros (tabla 3.26), basados en satisfacer la necesidad de la empresa y tratando de adecuar al espacio de trabajo para la implementación del proyecto. Para la escala de selección de la matriz tenemos los siguientes valores del 1 al 10, siendo 10 el valor más alto y conveniente.

| <i>Iluminación</i> | Fibra Óptica | Fluorescente | Laser | Led |
|-------------------------------------|---------------------|---------------------|--------------|------------|
| <i>CARACTERÍSTICAS</i> | | | | |
| Bajo Costo de implementación | 2 | 7 | 8 | 9 |
| Luz Fría | 10 | 8 | 10 | 10 |
| Uniformidad de luz | 10 | 5 | 10 | 9 |
| NO Efecto parpadeo | 10 | 3 | 10 | 10 |
| Consumo Eléctrico | 8 | 7 | 9 | 10 |
| Disponibilidad de IR | 6 | 6 | 1 | 10 |
| Durabilidad | 6 | 4 | 6 | 10 |
| Disponibilidad de equipo | 7 | 10 | 9 | 8 |
| Poco Espacio de montaje | 9 | 6 | 5 | 8 |
| Tecnología actual | 10 | 6 | 7 | 10 |
| Mantenimiento | 6 | 5 | 5 | 8 |
| Horas de uso | 8 | 9 | 8 | 10 |
| Conectividad | 7 | 6 | 5 | 8 |

| | | | | |
|-------------------------|-----|----|----|------------|
| Asesoría técnica | 6 | 10 | 6 | 6 |
| TOTAL | 105 | 92 | 99 | 126 |

Tabla 3.27 Análisis y selección de Iluminación.¹²⁵

De la tabla 3.27 se obtiene que el tipo de iluminación adecuada para el desarrollo del proyecto sea de tipo LED.

3.3.1.5.4 Técnicas de iluminación.

Dentro de la visión artificial, existen varios métodos de visión artificial, los más usados son:

- Iluminación Posterior (back light)
- Iluminación Frontal oblicua.
- Iluminación Difusa o de día nublado (CDI)

En base al estudio de las técnicas de iluminación antes mencionadas se ha desarrollado un cuadro comparativo descrito en la tabla 3.28

| TIPO TÉCNICA DE ILUMINACIÓN | | | |
|------------------------------------|---|--------------------------------|---------------------------------------|
| Característica | Posterior | Frontal Oblicua | Difusa |
| Función | Delinear siluetas | superficies planas | resaltar relieves objetos irregulares |
| Contraste | 100% | 90%* | 100% |
| Espacio de implementación | Reducido | Flexible | Grande |
| Desventaja | alta potencia para cubrir los 13[m] entre varillas y cámara | Susceptible a cambio de ángulo | costo de implementación |
| * Depende del Angulo de incidencia | | | |

Tabla 3.28 Cuadro comparativo tipos de Técnicas de Iluminación¹²⁶

¹²⁵ Fuente Propia

3.3.1.5.5 Planteamiento de requisitos del tipo de iluminación.

En base a la investigación realizada se han considerado requisitos que debe cumplir la técnica de iluminación para satisfacer las necesidades de calidad de imagen y espacio disponible para la implementación del proyecto, cuyos requisitos se encuentran detallados en la tabla 3.29

| REQUISITOS QUE DEBE CUMPLIR LA ILUMINACIÓN |
|--|
| Eliminación de sombras de superficies irregulares. |
| Usar poco espacio de montaje |
| Flexibilidad de diseño |
| Bajo costo de implementación |
| Alto contraste entre fondo y objeto |

Tabla 3.29 Requisitos que debe cumplir la iluminación¹²⁷

3.3.1.5.6 Selección de técnica de iluminación

En base a la tabla 3.28 y 3.64 se ha realizado una matriz de selección, tabla 3.30 para escoger el tipo de técnica de iluminación óptimo para la aplicación, basados en satisfacer la necesidad de la empresa y tratando de adecuar al espacio de trabajo para la implementación del proyecto. Para la escala de selección de la matriz tenemos los siguientes valores del 1 al 10, siendo 10 el valor más alto y conveniente.

| <i>Técnica de Iluminación</i> | Posterior | Frontal oblicua | Difusa |
|------------------------------------|-----------|-----------------|--------|
| CARACTERÍSTICAS | | | |
| Eliminación de Sombras | 8 | 7 | 10 |
| Reducido espacio de montaje | 7 | 10 | 5 |
| Flexibilidad | 8 | 9 | 9 |

¹²⁶ Elaboración Propia, Fuente Varios

¹²⁷ Fuente propia

| | | | |
|-----------------------|----|-----------|----|
| Alto contraste | 10 | 7 | 9 |
| Costo Bajo | 8 | 10 | 5 |
| TOTAL | 41 | 43 | 38 |

Tabla 3.30 Análisis y selección de técnica de iluminación.¹²⁸

De la tabla 3.30 indica que la técnica de iluminación más apropiada para la aplicación de este proyecto, por tema de espacio de montaje y costo, es la frontal oblicua.

3.3.1.5.7 Selección de longitud de onda de iluminación

Hasta el momento se ha dispuesto un tipo de iluminación LED usando la técnica de iluminación frontal oblicua, pero no se ha hablado sobre un tema muy importante, la longitud de onda con la cual debe trabajar esta iluminación.

Se debe tomar en cuenta que el sistema de visión desarrollado, va a estar a la intemperie, es decir la luz ambiental, luz solar, va a estar presente y variante durante todo el día. Con lo cual la intensidad de la luz solar variará, de igual manera que el corte de las varillas, de una manera no determinística. Por lo cual la selección de longitud de onda a la que debe trabajar la iluminación se vuelve crucial para evitar que los cambios de luz alteren el contraste varilla-fondo de la imagen capturada por la cámara.

Se estudiará y tomara como referencia el tipo de configuración de iluminación y filtro usado en los sistemas de lectura de placa vehicular por medio de visión artificial usada en los peajes, ya que las condiciones de trabajo son similares. Descritas en la tabla 3.31.

| |
|--|
| Condiciones de trabajo para la iluminación |
| Intensidad de luz solar variante durante el día |
| Trabajo continuo día, tarde, y noche los 360 días del año. |

¹²⁸ Fuente propia

Cambio mínimo en el contraste de las imágenes adquiridas durante todo el día.

Tabla 3.31 Condiciones de trabajo Iluminación.¹²⁹

Una de las técnicas usadas para satisfacer las condiciones de trabajo descritas en la tabla 3.31 es el uso de una determinada longitud de onda como iluminación, y un filtro a la misma longitud de onda emitida por la iluminación. Existen comercialmente cuatro tipos técnicas de configuración iluminación filtro, las cuales son:

- Iluminación Roja + filtro rojo.
- Iluminación verde + filtro verde.
- Iluminación Azul + filtro Azul.
- Iluminación infrarroja + filtro infrarrojo.

Todas se basan en el principio de composición de diferente tipo de onda de la luz solar y el filtrado de cada una, es decir solo se verán objetos de color rojo, verde o azul dependiendo de la configuración.

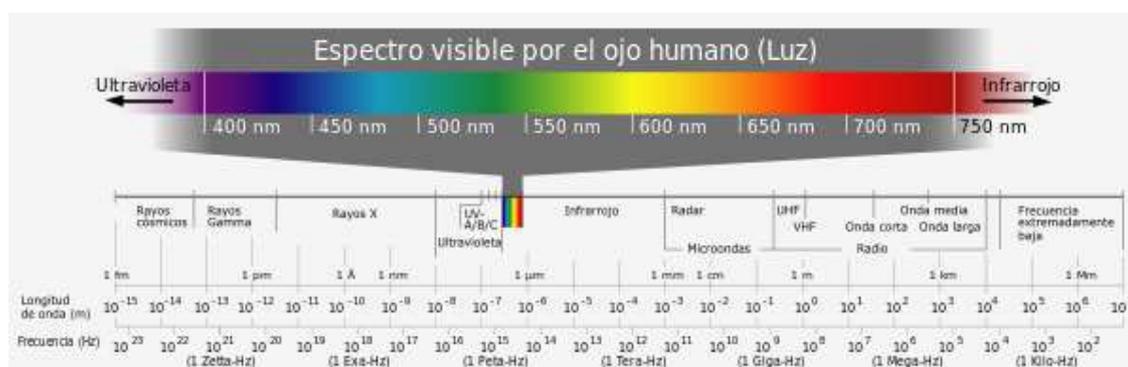


Figura 3.44 Espectro electromagnético.¹³⁰

La figura 3.44 muestra las diferentes longitudes de onda del espectro electromagnético, la luz visible (colores va desde 400 a 750 nm). Pasado los 750 nm se llama infrarrojo, cuyas longitudes de onda no son visibles al ojo humano.

¹²⁹ Fuente Propia

¹³⁰ <http://luzvisiblejstt.blogspot.com/>, Luz Visible, Español.

En teoría cualquiera de las configuraciones mostradas anteriormente sería apta para una aplicación a la intemperie de visión artificial. Siempre y cuando no se tengan objetos de estos colores dentro del campo de visión de la cámara, debido a que el filtro dejara pasar estas longitudes de onda de estos objetos, capturándose imágenes no deseadas para el procesamiento.

Debido a que el proyecto se desarrolla a la intemperie, donde el campo de visión de la cámara se verá afectado por la presencia de operarios, máquinas y objetos de varios colores, se ha optado por usar la configuración Iluminación infrarroja más filtro infrarrojo, por ser una configuración, donde la longitud de onda no es visible al ojo humano (>750 nm), por lo tanto no existen objetos de este “color” que puedan interferir en el campo de visión de la cámara.

La cámara capturará la luz reflejada de las varillas debido a la iluminación, pudiendo así concentrar la iluminación en el área de las varillas y atenuar el cambio de intensidad de luz solar durante el día, sin preocuparse del color de los objetos que puedan cruzarse en el campo de visión de la cámara.

Comercialmente existen dos tipos de longitudes de onda infrarrojas disponibles en el mercado siendo estas: ¹³¹

- 850 nm
- 940 nm

Se ha seleccionado trabajar con la longitud de onda de 850 nm por ser esta la más cercana al rojo visible (750nm) ya que la siguiente longitud de onda es considerada dentro del espectro electromagnético del infrarrojo, donde sus características y

¹³¹ <http://www.infaimon.com/Infaimon>, Infaimon Especialistas en vision artificial, Español.

propiedades cambian considerándose como calor (>2000 nm) , comportándose de diferente manera. (Siendo esta la base de las cámaras térmicas).

3.3.1.5.8 Selección de la iluminación y filtro.

Tomando en cuenta los incisos anteriores, se usará una iluminación Infrarroja con una longitud de banda de 850 nm tipo Led y un filtro a la misma longitud de onda. Las tablas 3.32, 3.33 y 3.34 muestran, respectivamente, los datos técnicos de iluminación y filtro usados para el desarrollo del proyecto.

Por problemas de logística de la empresa se han adquirido dos marcas de diferentes fabricantes con las mismas características de iluminación, es decir, Leds infrarrojos a 850 nm de longitud de onda.

| PARÁMETRO | ESPECIFICACIÓN |
|--------------------------|-----------------------|
| Rango de trabajo | >250 m |
| Longitud de onda | 850nm |
| Alimentación | 100-240 Vac, 50/60 Hz |
| Consumo | 25W |
| Potencia LED | 20W |
| Temperatura de Operación | -20 C a 50 C |
| Protección | IP66 |
| Tiempo de vida | >100.000 horas |
| Tamaño | 195x120x95 mm |

Tabla 3.32 Datos técnicos de VCN2 IR 850.¹³²

| PARÁMETRO | ESPECIFICACIÓN |
|--------------------------|------------------|
| Rango de trabajo | >75 m |
| Longitud de onda | 850nm |
| Alimentación | 100-230 Vac |
| Consumo | 20W |
| Potencia LED | 20W |
| Temperatura de Operación | -50 C a 50 C |
| Protección | IP66 |
| Tiempo de vida | >100.000 horas |
| Tamaño | 160x115x54 mm |

Tabla 3.33 Datos técnicos RayMax 50-AI-30¹³³

¹³² Data Sheet Gardasoft VCN2 y VCN4, pag 2.

| PARÁMETRO | ESPECIFICACIÓN |
|----------------------|----------------|
| Banda de trabajo | 850 nm |
| Montura | M30.5 |
| Paso | 0.5 |
| Diámetro de apertura | 26.5mm |

Tabla 3.34 Datos técnicos del filtro BP850-30.5¹³⁴

3.3.1.5.9 Disposición de la iluminación.

En base a la tabla 3.30, la técnica más adecuada de iluminación para este proyecto es frontal oblicua, dado que la ventaja de la técnica de iluminación difusa es eliminar las sobras producidas por las imperfecciones del perfil, y su desventaja es el costo de implementación y ocupa demasiado espacio, además tomando en cuenta la variabilidad del perfil de las varillas, motivo por el cual se desarrollará un diseño para intentar emular la técnica de iluminación difusa.

Se usará iluminación frontal oblicua y gracias a la propiedad de reflexión de las varillas de acero se determinará la disposición de un conjunto de 5 iluminaciones directas cuyo foco de reflexión será el lente de la cámara, la figura 3.45 la disposición de las fuentes de iluminación planteadas.

¹³³ Data Sheet Raymax 50, pag 2

¹³⁴ <https://www.cognex.com/partner/IMIF-BP850-30.5.aspx>, Cognex Product Catalog, Ingles.

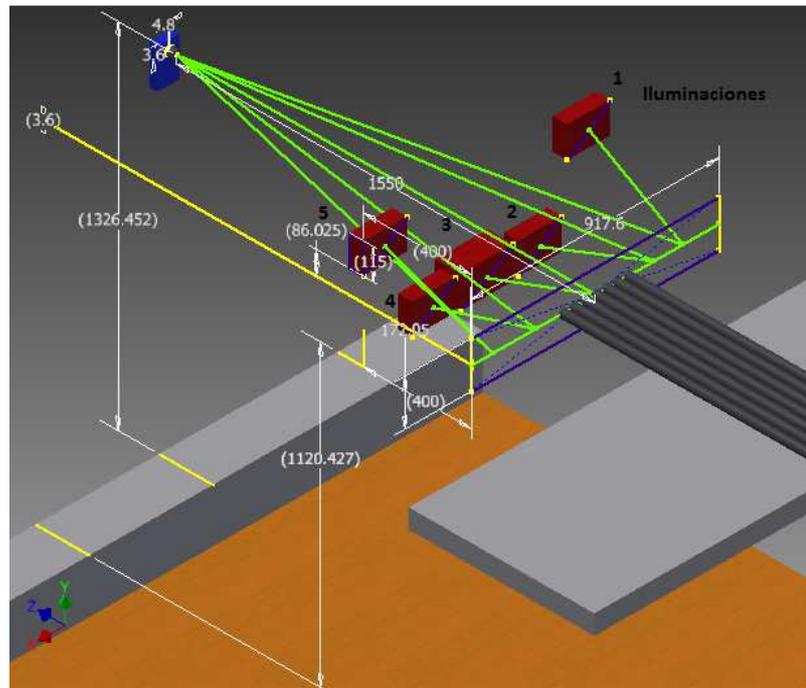


Figura 3.45 Disposición de Iluminación planteada¹³⁵

3.3.1.5.9.1 Cálculo de distancias y ángulos de cada iluminación.

Para el cálculo de la posición y ángulos de cada una de las iluminaciones, se considerará al haz de luz emitido como un vector, y el área cubierta por las iluminaciones será considerado el área de cobertura igual al área física de la iluminación.

Siendo conocido que el ángulo de incidencia es igual al reflejado se calcularán las posiciones de cada una de las iluminaciones con respecto al lente de la cámara. Además se considerará una disposición lo más simétrica posible y que no interfiera en el campo de visión de la cámara.

3.3.1.5.9.1.1 Distancias y ángulos plano yz

Dado que las iluminaciones 1 y 5, 2 y 4 son simétricas con respecto al plano XZ, los ángulos calculados y distancias son iguales, cambiando solo de sentido.

¹³⁵ Fuente Propia

La iluminación 3 se la colocara el centro y se usara la iluminación VCN2 para mantener la uniformidad y simetría del sistema.

La figura 3.46, muestra los datos necesarios para obtener la distancia Y, Z y el ángulo A de inclinación de las iluminaciones. El ángulo A es común para las iluminaciones 1 y 5, mientras que para las iluminaciones 2, 3,4 es el negativo de este ángulo, de igual manera la distancia Y. La distancia Z es igual para todas las iluminaciones.

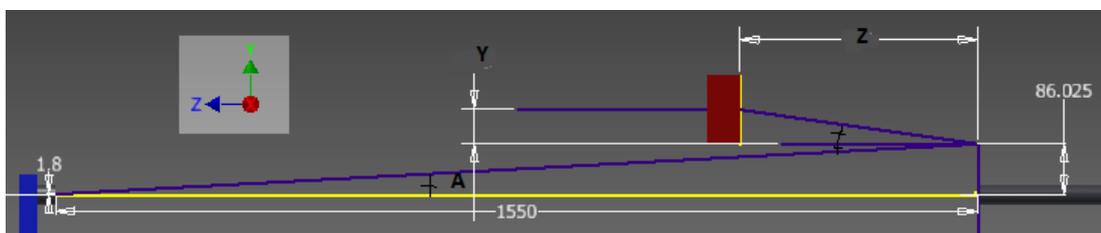


Figura 3.46 Datos Plano YZ¹³⁶

Aplicando Pitágoras obtenemos:

$$\angle A = \text{Tan}^{-1} \left(\frac{86.025 - 1.8}{1550} \right)$$

$$\angle A = 3.1^\circ$$

Con Z=400

Obtenemos:

$$Y = \text{Tan} (3.1) * 400$$

$$Y = 21.7 \text{ mm}$$

Con esta distancia Y=21.7 mm y Z= 400, la Iluminación RayMax 50 interrumpe el campo de visión de la cámara, se usara diseño asistido por computadora (CAD) para

¹³⁶ Fuente Propia

obtener la distancia Z a la que se necesita colocar la iluminación para producir el ángulo A de 3.1 grados, manteniendo constante la altura Y. La figura 3.47 indica el valor la distancia Z a la que se debe colocar la iluminación para que no obstruya el campo de visión de la cámara.

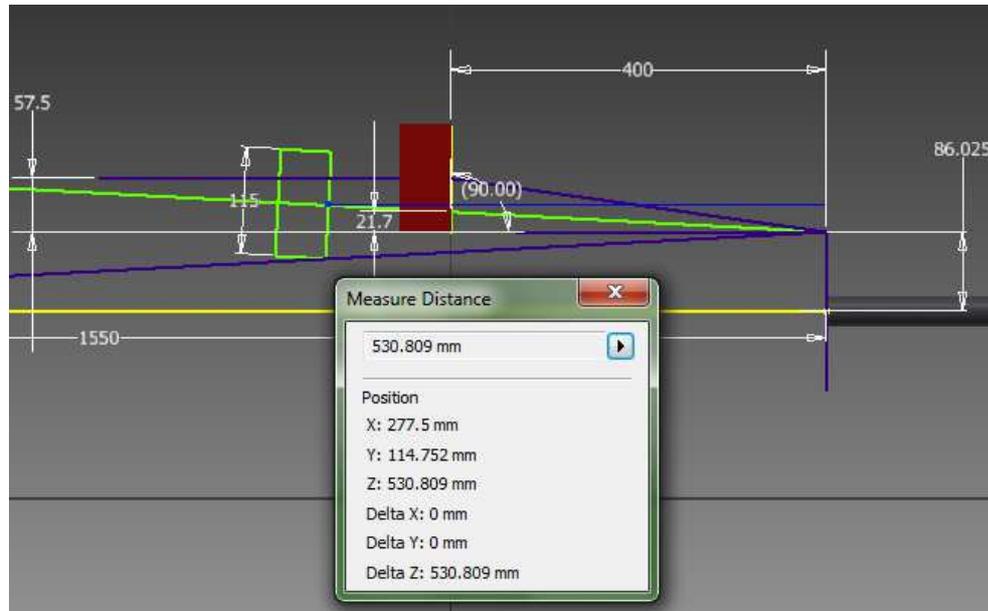


Figura 3.47 Distancia Z asistida por computadora.¹³⁷

Con Z=530

Obtenemos:

$$Y = \tan(3.1) * 530$$

$$Y = 28.7 \text{ mm}$$

$$Y' = Y + 86.025 \text{ mm}$$

$$Y' = 114.72 \text{ mm}$$

Las distancias a las que deben estar las iluminaciones, con respecto a la lente, en el plano YZ están representadas en el la tabla 3.35.

¹³⁷ Fuente Propia

| ANGULO A[grados] | | | |
|--------------------------|------------------|-------------------|------------------|
| Iluminaciones | Calculado | Ingeniería | Dato real |
| 1 | 3.1 | 3.1 | 3 |
| 2 | -3.1 | -3.1 | -3 |
| 3 | -3.1 | -3.1 | -3 |
| 4 | -3.1 | -3.1 | -3 |
| 5 | 3.1 | 3.1 | 3 |
| DISTANCIA Y' [mm] | | | |
| Iluminaciones | Calculado | Ingeniería | Dato real |
| 1 | 114.72 | 114.72 | 115 |
| 2 | -114.72 | -114.72 | -115 |
| 3 | -114.72 | -114.72 | -115 |
| 4 | -114.72 | -114.72 | -115 |
| 5 | 114.71 | 114.71 | 115 |
| DISTANCIA Z[mm] | | | |
| Iluminaciones | Calculado | Ingeniería | Dato real |
| 1 | 530.81 | 530.81 | 530 |
| 2 | 530.81 | 530.81 | 530 |
| 3 | 530.81 | 530.81 | 530 |
| 4 | 530.81 | 530.81 | 530 |
| 5 | 530.81 | 530.81 | 530 |

Tabla 3.35 Distancias y ángulo de inclinación plano YZ ¹³⁸

3.3.1.5.9.1.2 Distancias y ángulos plano xz

Dado que las iluminaciones 1 y 5, 2 y 4 son simétricas con respecto al plano YZ, los ángulos calculados y distancias son iguales, cambiando solo de sentido.

La figura 3.48, muestra los datos necesarios para obtener la distancia X1 y X2 y los ángulos B1 y B2 de rotación de las iluminaciones. El ángulo B1 es común para las iluminaciones 1 y 5, cambiando solamente el signo de ángulo para la iluminación 5, del mismo modo sucede con el ángulo B2 para las iluminaciones 2 y 4.

¹³⁸ Fuente Propia

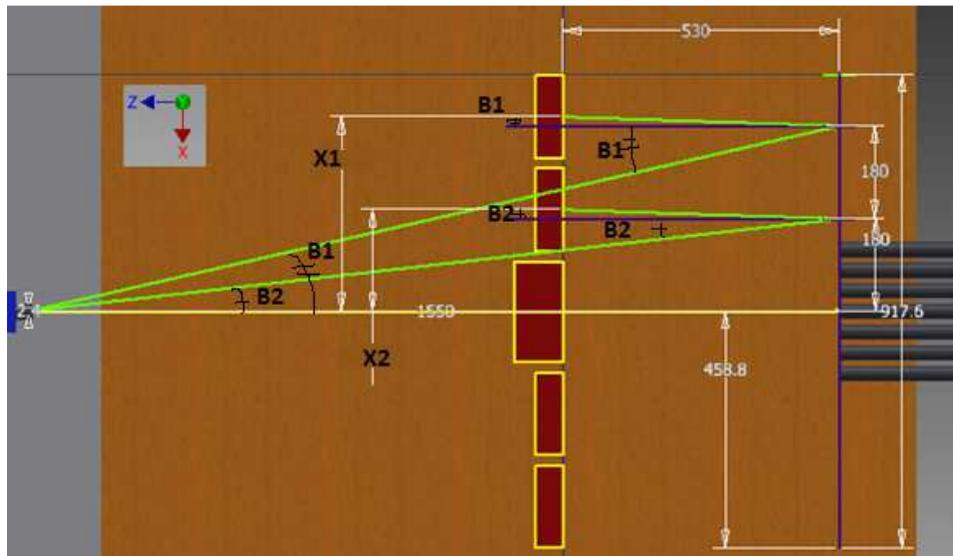


Figura 3.48 Datos Plano XZ.¹³⁹

Aplicando Pitágoras obtenemos:

$$\angle B1 = \tan^{-1} \left(\frac{180 + 180 - 2.4}{1550} \right)$$

$$\angle B1 = 13^\circ$$

$$X1 = (\tan(13) * 530) + 180 + 180 - 2.4$$

$$X1 = 479.88 \text{ mm}$$

$$\angle B2 = \tan^{-1} \left(\frac{180 - 2.4}{1550} \right)$$

$$\angle B2 = 6.54^\circ$$

$$X2 = (\tan(6.54) * 530) + 180 - 2.4$$

$$X2 = 238.33 \text{ mm}$$

La figura 3.49 muestra como quedarán las iluminaciones cambiando su ángulo de rotación B1 y B2 respectivamente.

¹³⁹ Fuente Propia

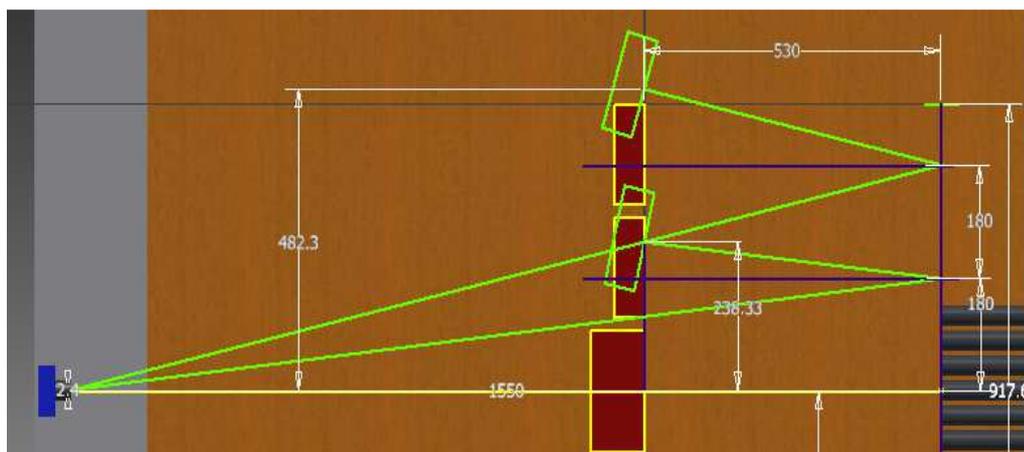


Figura 3.49 Distribución plano XZ ¹⁴⁰

Las distancias a las X1 y X2 que deben estar las iluminaciones con respecto a la lente, en el plano XZ están representadas en el la tabla 3.36.

| Iluminación | ANGULO ROTACIÓN B [grados] | | | DISTANCIA X[mm] | | |
|-------------|-------------------------------|------------|-----------|-----------------|------------|-----------|
| | Calculado | Ingeniería | Dato real | Calculado | Ingeniería | Dato real |
| 1 | 13 | 13 | 13 | 479.88 | 479.88 | 480 |
| 2 | 6.54 | 6.54 | 6 | 238.33 | 238.33 | 240 |
| 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 4 | -6.54 | -6.54 | -6 | -479.88 | -479.88 | -480 |
| 5 | -13 | -13 | -13 | -238.33 | -238.33 | -240 |

Tabla 3.36 Distancias y ángulo de rotación plano XZ ¹⁴¹

3.3.2 DISEÑO DEL SOFTWARE DEL SISTEMA DE VISIÓN ARTIFICIAL

La etapa de procesamiento comprende la programación del software de control del sistema de conteo y separación del dispositivo mecánico diseñado.

Dado que se usará la cámara NI 1722, de National Instruments, se usará Labview como lenguaje de programación para el desarrollo del sistema de conteo y separación por medio de visión artificial. Además que la empresa cuenta con la licencia de este software.

¹⁴⁰ Fuente Propia

¹⁴¹ Fuente Propia

No se colocaran los programas desarrollados por ser de propiedad intelectual de los autores de este presente documento. Se presentarán diagrama de flujo del programa desarrollado, mostrando las rutinas de modos de funcionamiento del software, el proceso de adquisición, procesamiento de las imágenes y comunicación con el sistema separador.

La figura 3.50 muestra el diagrama del proceso de diseño que se seguirá para el desarrollo del software de control por medio de visión artificial.

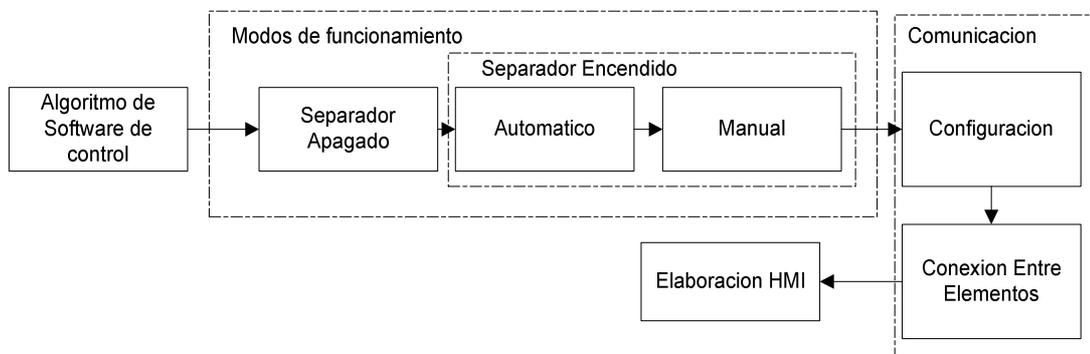


Figura 3.50 Diagrama de flujo proceso de diseño de Software de Vision Artificial.¹⁴²

3.3.2.1 Algoritmo de software de control labview.

La figura 3.51 muestra el algoritmo de control del software desarrollado en el entorno Labview para el sistema de conteo y separación de varillas. En los incisos posteriores se presentara el flujo grama de cada una de las rutinas presentadas en la figura 3.51.

¹⁴² Fuente Propia

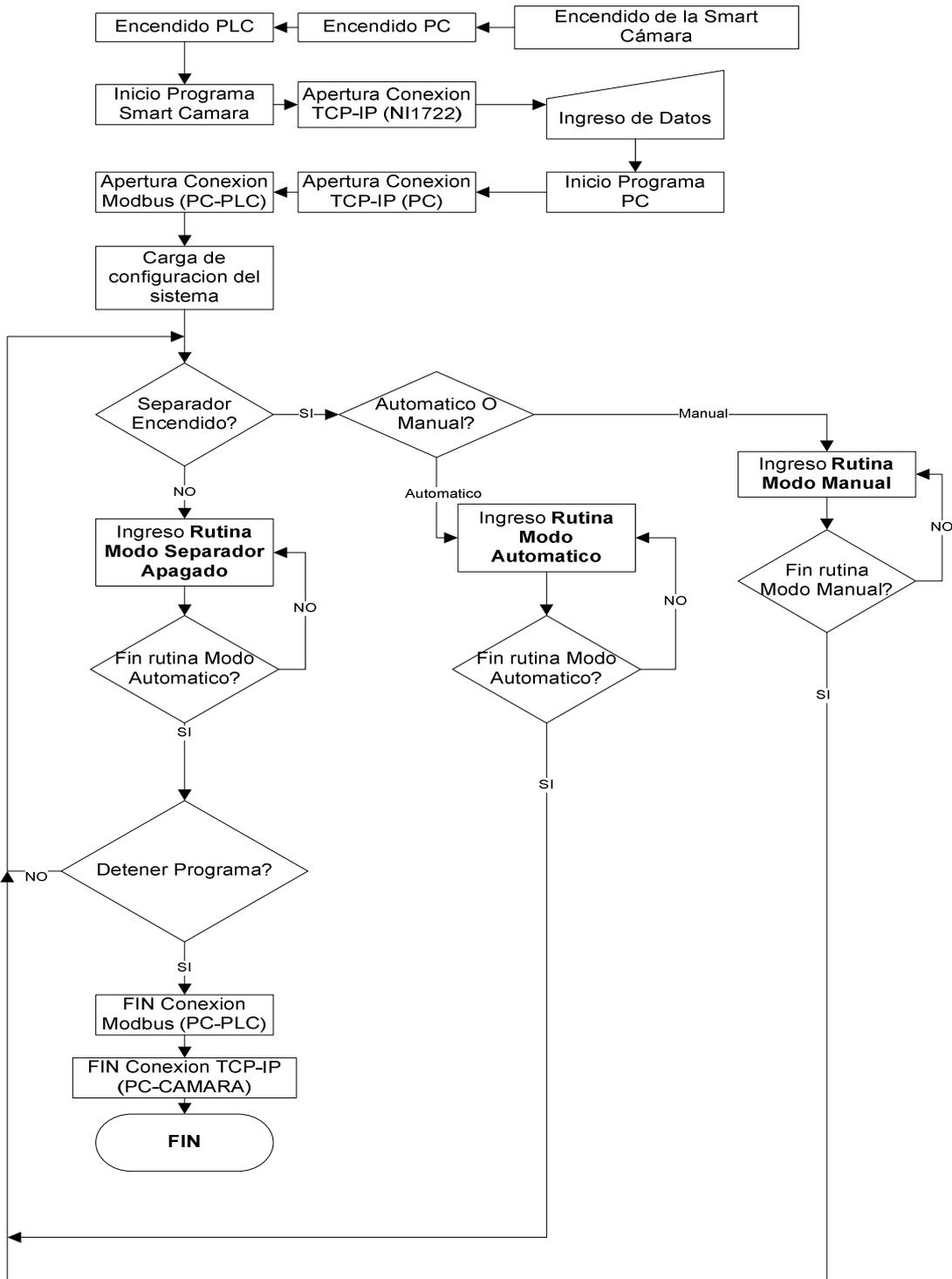


Figura 3.51 Algoritmo Software de control Labview.¹⁴³

¹⁴³ Fuente Propia

3.3.2.2 Modos de funcionamiento.

Se diseñó un software en lenguaje propio de Labview para que procese las imágenes adquiridas. Mediante algoritmos de detección de círculos se obtiene los datos necesarios para contar las varillas presentes en la imagen y obtener la ubicación de cada uno de los centros de las varillas presentes en la imagen del manto adquirida. Este dato será necesario al momento de enviar la ubicación de la última varilla que conforma el paquete requerido.

El sistema consta de modo automático y manual para la separación de varillas (control del separador mecánico), y la opción de contar por medio de visión artificial sin usar el separador automático, representados en la figura 3.52.

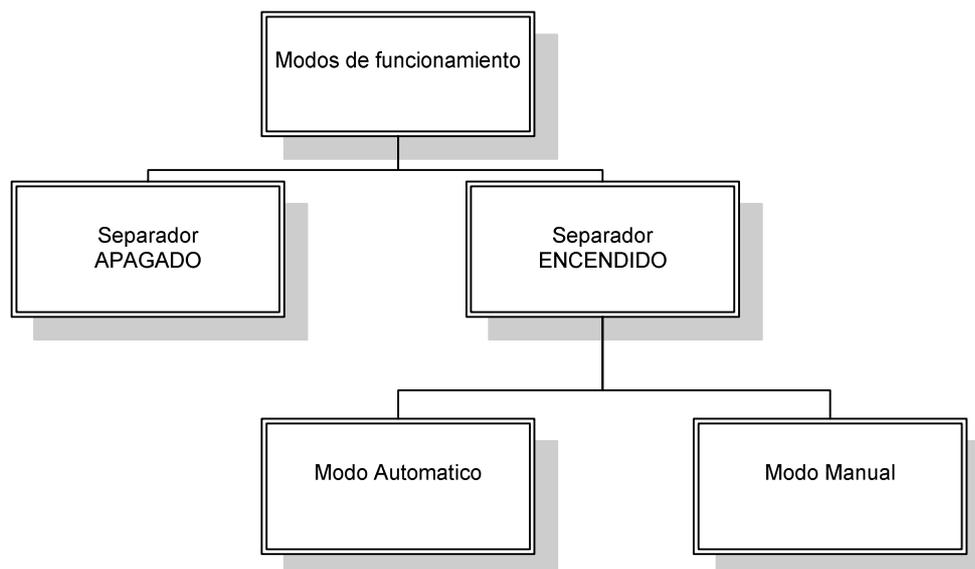


Figura 3.52 Modos de funcionamiento ¹⁴⁴

3.3.2.2.1 Modo separador apagado

En este modo no se tiene acceso a ninguna función del separador mecánico, es decir el programa contará las varillas presentes en cada manto y las acumulará, mostrando los resultados de Total, Faltantes y Manto actual.

¹⁴⁴ Fuente Propia

En este modo será necesaria la presencia del operario que cuenta las varillas, cuyo objetivo será la separación manual al momento de llegar a formar el paquete. Este operario debe fijarse en el dato de número de varillas faltantes para formar el paquete.

La figura 3.53 muestra el algoritmo de funcionamiento en este modo.

3.3.2.2.2 Modo automático.

Para ingresar a este modo de funcionamiento, es necesario presionar el encendido del separador y presionar el botón modo automático.

En este modo de funcionamiento, el separador se mueve automáticamente y funciona en conjunto con el contador de varillas por medio de visión artificial. Siendo su algoritmo de funcionamiento descrito en la figura 3.54

3.3.2.2.3 Funcionamiento modo manual.

Para ingresar a este modo de funcionamiento, es necesario presionar el encendido del separador. En este modo solo se tiene acceso al separador no al conteo por visión artificial, es decir, mover a conveniencia el separador mecánico, avance, retroceso, subir y bajar el actuador.

La figura 3.55 muestra el algoritmo de funcionamiento en este modo.

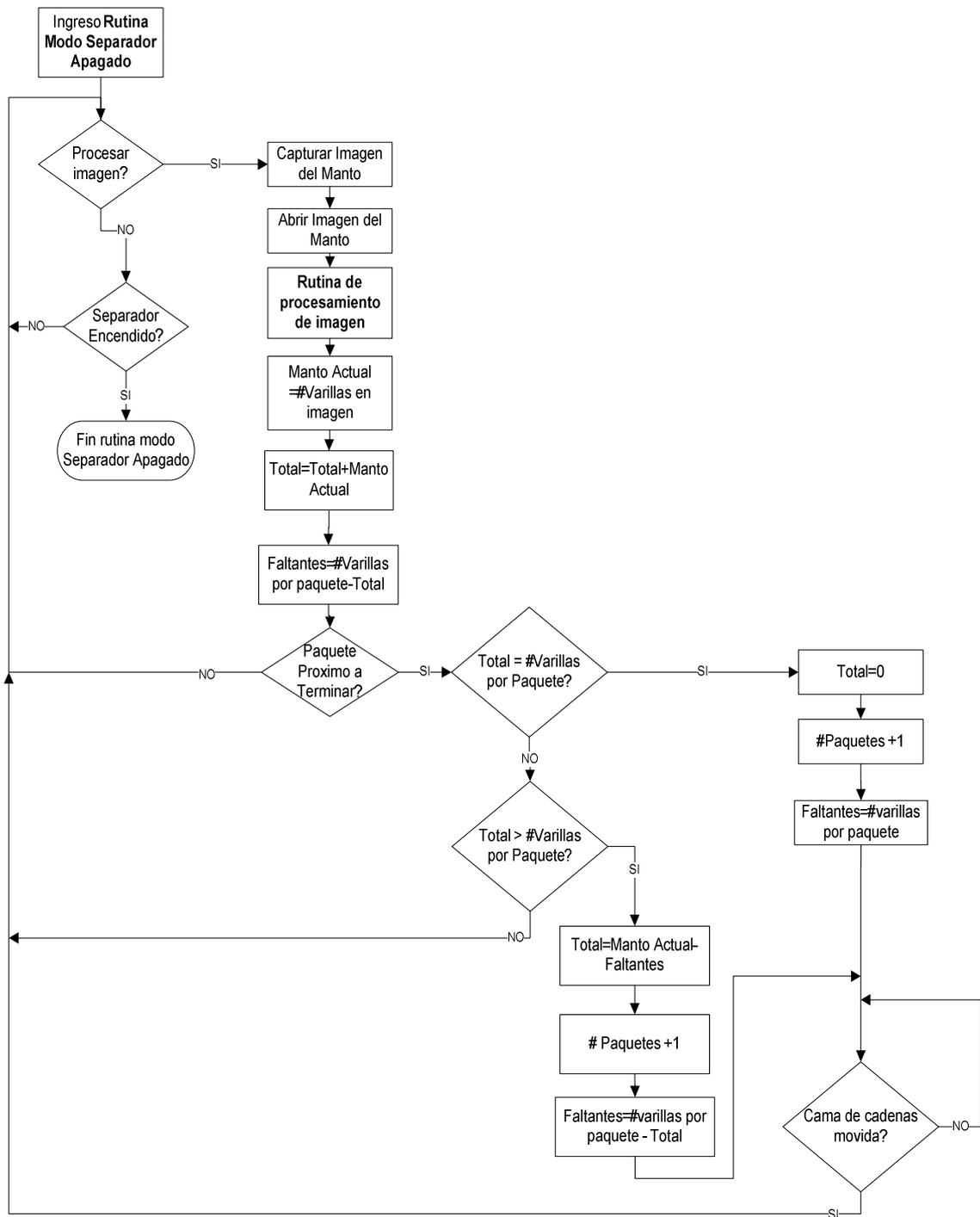


Figura 3.53 Modo Funcionamiento Separador Apagado ¹⁴⁵

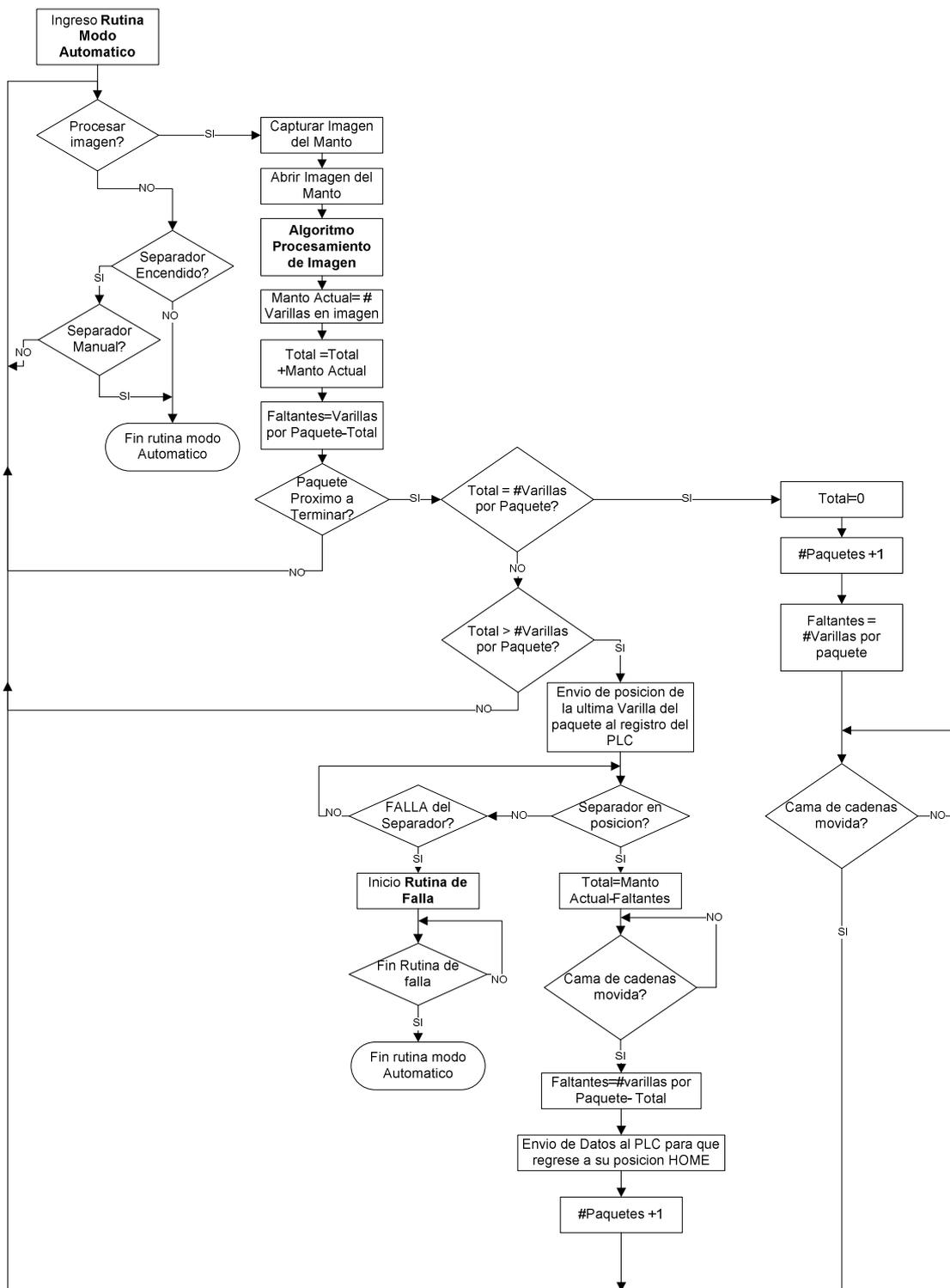


Figura 3.54 Funcionamiento modo automático¹⁴⁶

¹⁴⁶ Fuente Propia

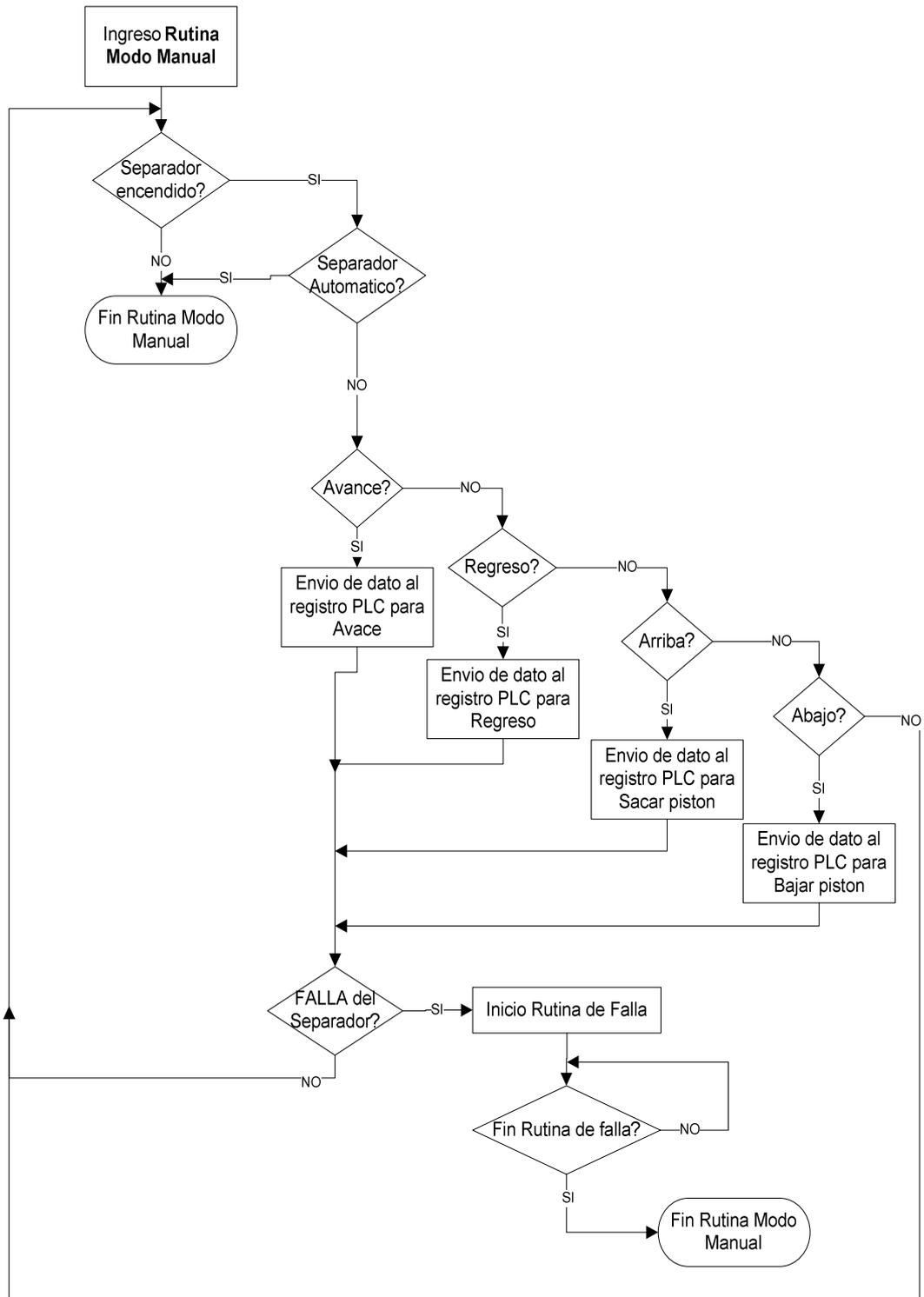


Figura 3.55 Funcionamiento modo manual.¹⁴⁷

¹⁴⁷ Fuente Propia

3.3.2.2.4 Algoritmo procesamiento de imagen.

Durante el diseño de software de control implementado en el programa Labview, existe un módulo de procesamiento de imagen, el cual debe seguir un algoritmo de procesamiento para la obtención del número de varillas presentes en cada manto, la Figura 3.56 muestra el algoritmo de procesamiento de imagen desarrollado, en base a los algoritmos que Labview contiene en su librería “Vision-Procesamiento”.

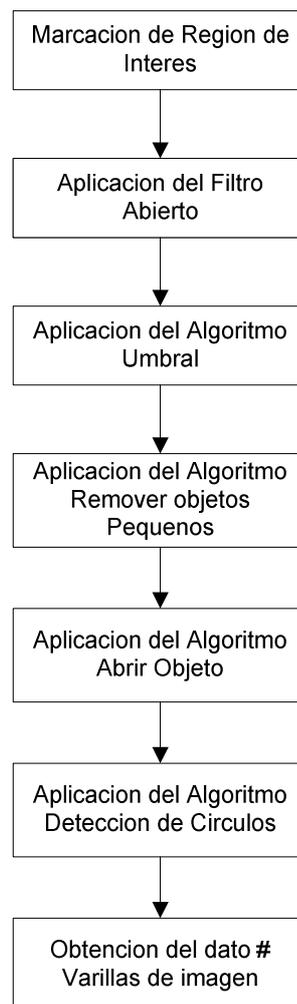


Figura 3.56. Algoritmo de Procesamiento de Imagen ¹⁴⁸

¹⁴⁸ Fuente propia

3.3.2.2.5 Algoritmo de rutina de falla.

Esta rutina de falla, se activa cuando sucede algún problema con el separador mecánico. La figura 3.57 indica el algoritmo de esta rutina.

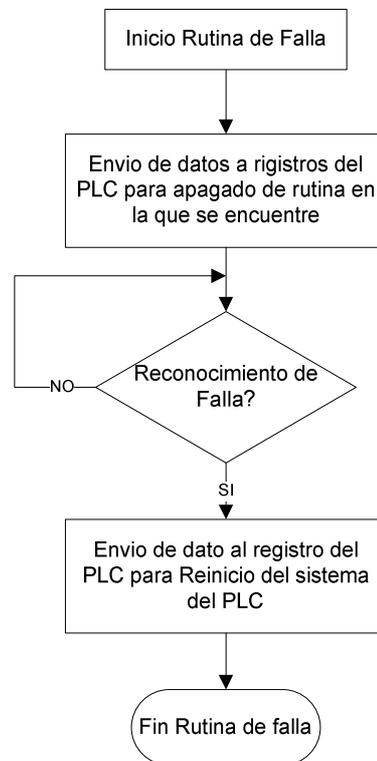


Figura 3.57 Algoritmo Rutina de Falla¹⁴⁹

3.3.2.3 Comunicación sistema de control visión y control PLC

En esta etapa de visión artificial se configura la cámara, la PC y el controlador o PLC para que se comuniquen y compartan información, y se cree el sistema de conteo y visión artificial.

3.3.2.3.1 Configuración cámara

Para la configuración de la cámara se ha usado la aplicación Measurement & Automation propia de Labview con parámetros descritos en la tabla 3.37.

¹⁴⁹ Fuente Propia

| | | |
|-------------------------|---|---------------|
| Network Settings | IP Address | 192.168.96.22 |
| | Subnet Mask | 255.255.255.0 |
| Software Cargado | DataSocket for Labview Real-Time 4.7.0 EPICS Server I/O Server 1.6.0 LabView 2009 Digital Filter Design Toolkit 9.0.0 LabView Control Design and Simulation 9.0 LabView Real-Time 9.0 Language Support for LabView RT 1.0.0.3 Modbus I/O Server 1.6.0 Network Variable Engine 1.6.0 NI Sound and Vibration 9.0 NI Vision RT 9.0.0 NI-IMAQ RT 4.3.0.3.1 NI-IMAQ Server 2.8.0.3.0 NI-Serial RT 3.3.4 NI- Simulation Interface Toolkit 9.0 NI-VISA 4.5.1 NI-VISA Server 4.5.1 Run Time Engine for Web Services 2.0.0 SSL Support for LabView RT 2.0.0 System State Publisher 1.1.0 Variable Client Support for LabView RT 1.6.0 | |
| Img0: NI 1722 | Exposure time (ms): | 30.456 |
| | Gain: | 196 |
| | Parcial Scan: | ¼ |
| | Lookup Table: | Normal |
| | Triggering | Off |
| | Lighting | Off |

Tabla 3.37 Configuración cámara¹⁵⁰

3.3.2.3.2 Conexión entre elementos

La figura 3.58 muestra un diagrama de la conexión física y protocolos de comunicación que se usarán para conectar al PC con la Smart Cámara, PLC y demás de elementos.

¹⁵⁰ Fuente Propia

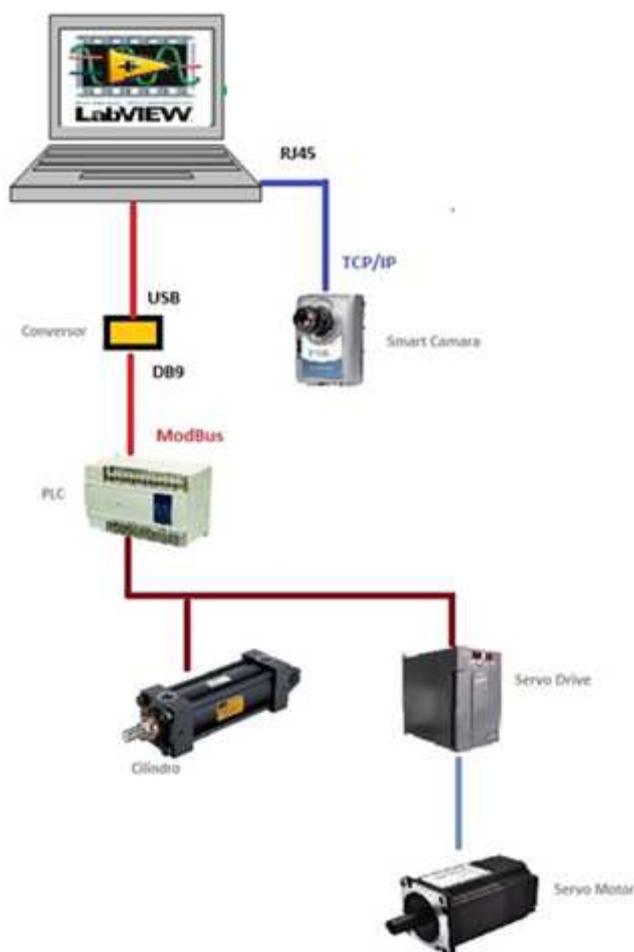


Figura 3.58 Esquema de Conexión de Elementos¹⁵¹

El computador (PC) se comunicará con la Smart Cámara por medio del protocolo TCP/IP, usando una configuración de IP estática. La Tabla 3.38 muestra las direcciones asignadas.

| Descripción | Dirección IP | Subnet Mask |
|---------------------|---------------|---------------|
| PC (computador) | 192.168.96.20 | 255.255.255.0 |
| Smart Cámara NI1722 | 192.168.96.22 | 255.255.255.0 |

Tabla 3.38 Direcciones IP¹⁵²

La PC se comunicará al PLC usando el protocolo Modbus, esto se debe a que Labview integra en sus librerías este protocolo.

¹⁵¹ Fuente Propia

¹⁵² Fuente Propia

El PLC se comunicará tanto con el Servo Drive, el cual controlará al servo motor, y con la electroválvula que controlará el cilindro neumático.

3.3.2.3.3 HMI conteo y separación de varillas

Una vez realizado el software de procesamiento y separación, se ha desarrollado un HMI, Figura 3.59, para la interacción y la presentación de los datos para el operario.



Figura 3.59 HMI Desarrollado ¹⁵³

3.4 DISEÑO DEL SOFTWARE DE CONTROL DEL SISTEMA SEPARADOR.

En este inciso se diseñará el software de control del sistema separador, se han diseñado dos bloques principales, uno funcionamiento automático y otro funcionamiento manual, y un bloque auxiliar, de falla del sistema separador. La figura 3.60 muestra el diagrama del proceso de diseño que se seguirá para el desarrollo del software de control del sistema separador.

Se usó el programa XC Series Program Tool para el desarrollo del programa en lenguaje escalera para el control del sistema separador mecánico, se usó este programa por ser el programador del PLC Xinje XC3-24-RT-E usado para este proyecto.

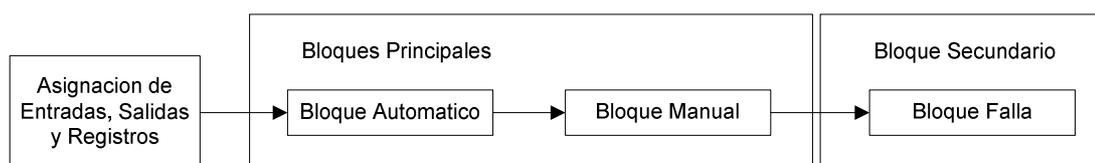


Figura 3.60 Proceso de diseño ¹⁵⁴

3.4.1 ASIGNACIÓN DE MEMORIAS, REGISTROS, SALIDAS, Y ENTRADAS.

La Tabla 3.39 muestra la asignación de memorias, registros, salidas, y entradas, que se usaran para controlar el servo drive, y la electroválvula, e intercambio de datos entre Labview y PLC.

| MEMORIA | | |
|-----------|------|---|
| Dirección | Tipo | Descripción |
| M0 | Bit | Inicio de Secuencia Automática |
| M2 | Bit | Inicio secuencia Automática de regreso HOME del separador |
| M550 | Bit | Ingreso secuencia automática 160 |
| M500 | Bit | Ingreso Secuencia Manual |
| M505 | Bit | Avance del separador modo manual |

¹⁵⁴ Fuente Propia

| MEMORIA (CONTINUACIÓN) | | |
|-------------------------------|-------------|---|
| M506 | Bit | Regreso del separador modo manual |
| M507 | Bit | Subir el pistón Modo Manual |
| M508 | Bit | Bajar el pistón Modo Manual |
| M680 | Bit | Reconocimiento de Falla |
| M20 | | Avance separador modo Automático |
| M10 | | Regreso separador modo automático |
| M88 | Bit | Indicador que el separador está posicionado |
| M668 | Bit | Indicador separador en Home |
| M689 | Bit | Indicador de Falla del separador |
| M8170 | Bit | Memoria Especial Fin de secuencia de pulsos |
| M100 | Bit | Memoria de Control Energización Servo Drive |
| REGISTROS | | |
| Dirección | Tipo | Descripción |
| D108 | Word | Valor de Velocidad [Pulsos] |
| D110 | Word | Factor de 161posición161n Velocidad-pulsos |
| D104 | Word | Factor de 161posición161n pixeles-pulsos |
| D106 | Word | Valor de posición [Pulsos] |
| D0 | Word | Valor de Velocidad [Pulsos] PLC |
| D2 | Word | Valor de 161posición [pulsos] PLC |
| SALIDAS | | |
| Dirección | Tipo | Descripción |
| Y0 | Bit | salida de pulsos de control Servo Drive |
| Y3 | Bit | salida de pulsos de control Servo Drive |
| Y4 | Bit | Energiza el Servo Drive |
| Y6 | Bit | Salida del Pistón (A+) |
| Y7 | Bit | Regreso del Pistón (A-) |
| Entradas | | |
| Dirección | Tipo | Descripción |
| X1 | Bit | Sensor Pistón abajo (a0) |
| X2 | Bit | Sensor Pistón Arriba (a1) |
| X3 | Bit | Sensor Separador Home |
| X4 | Bit | Sensor Final de Carrera |

 Señal Enviada desde Labview al PLC
 Señal Enviada desde el PLC a Labview

Tabla 3.39 Asignación de memorias, registros, salidas, y entradas para el control del sistema separador. ¹⁵⁵

3.4.2 DISEÑO DEL BLOQUE AUTOMÁTICO DEL SISTEMA DE CONTROL DEL SEPARADOR

En base a la tabla 3.74 se desarrollará el algoritmo de control del bloque de trabajo en modo automático, el mismo que se encuentra descrito en la figura 3.61.

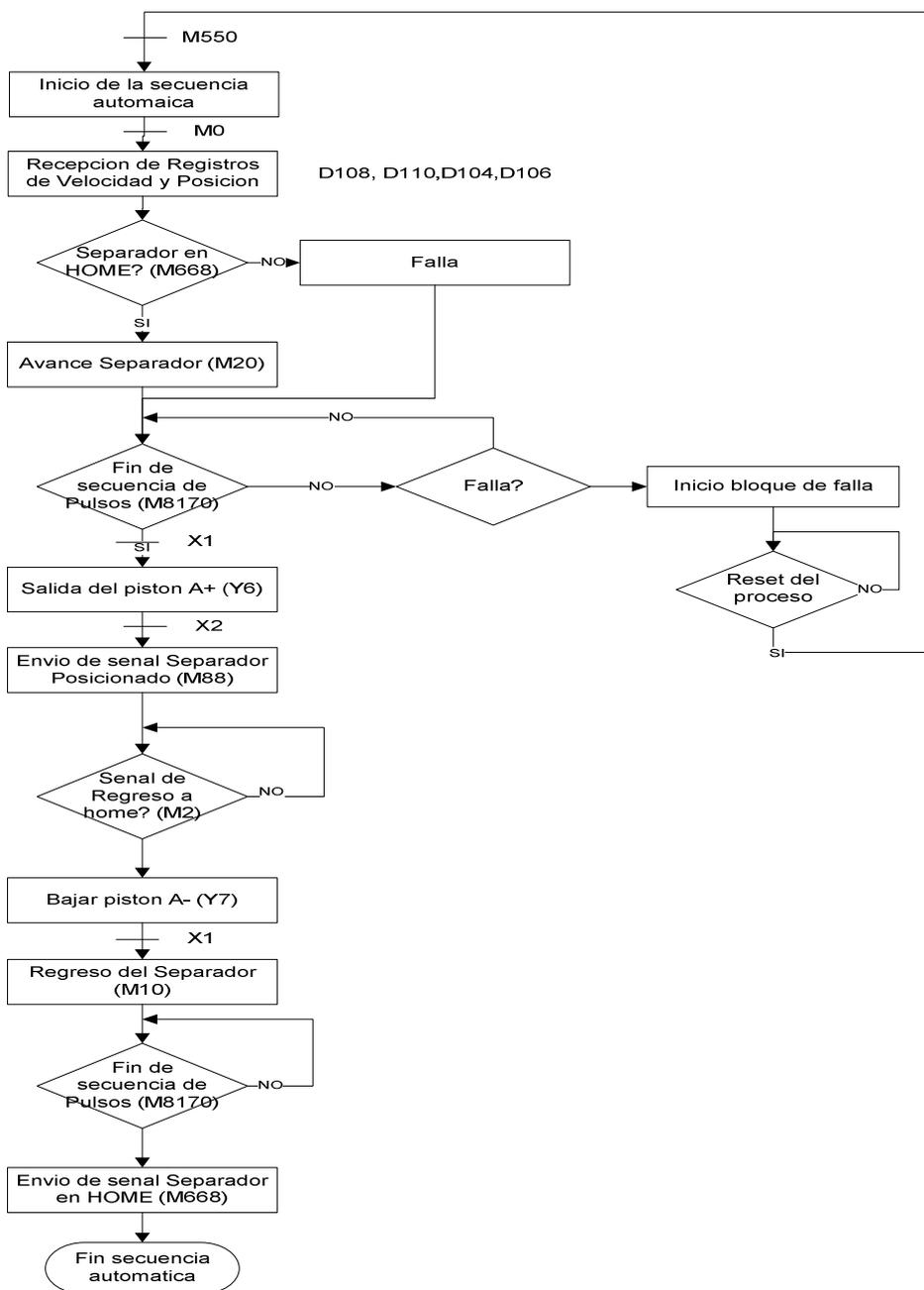


Figura 3.61 Algoritmo bloque Automático Sistema de control Separador ¹⁵⁶

3.4.3 DISEÑO DEL BLOQUE MANUAL DEL SISTEMA DE CONTROL DEL SEPARADOR

En base a la tabla 3.39 se desarrollará el algoritmo de control del bloque de trabajo en modo Manual, el mismo que se encuentra descrito en la figura 3.62.

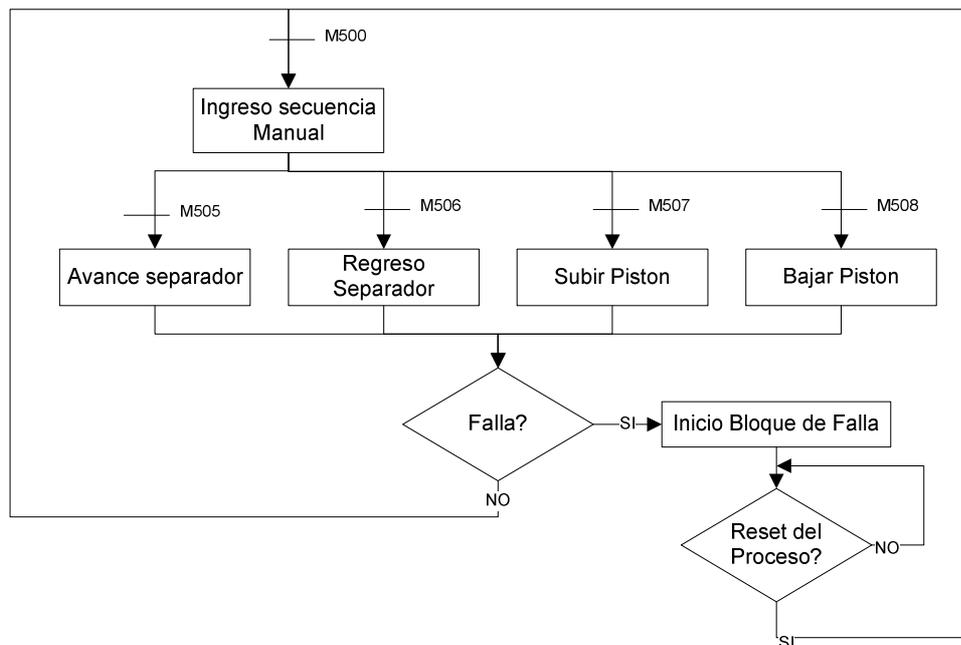


Figura 3.62 Algoritmo bloque manual sistema de control separador ¹⁵⁷

3.4.4 DISEÑO DEL BLOQUE DE FALLA DEL SISTEMA DE CONTROL DEL SEPARADOR

La figura 3.63 muestra el algoritmo para el bloque auxiliar de falla, las fallas programadas son:

- Separador alcanzo su final de carrera
- Error en el sensor de posición del pistón ($X1 \wedge X2$)
- Error en la salida de las electroválvulas ($Y6 \wedge Y7$)
- Error en los sensores de finales de carrera ($X3 \wedge X4$)

¹⁵⁷ Fuente Propia

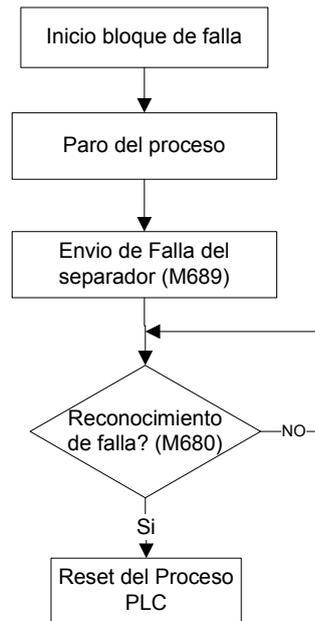


Figura 3.63 Algoritmo bloque de falla.¹⁵⁸

CAPÍTULO IV

SIMULACIÓN

Debemos considerar que la realización de un estudio de simulación requiere la ejecución de una serie de actividades y análisis que permitan sacarle el mejor provecho.

Siguiéndonos por la metodología de diseño descrita en la figura 4.1

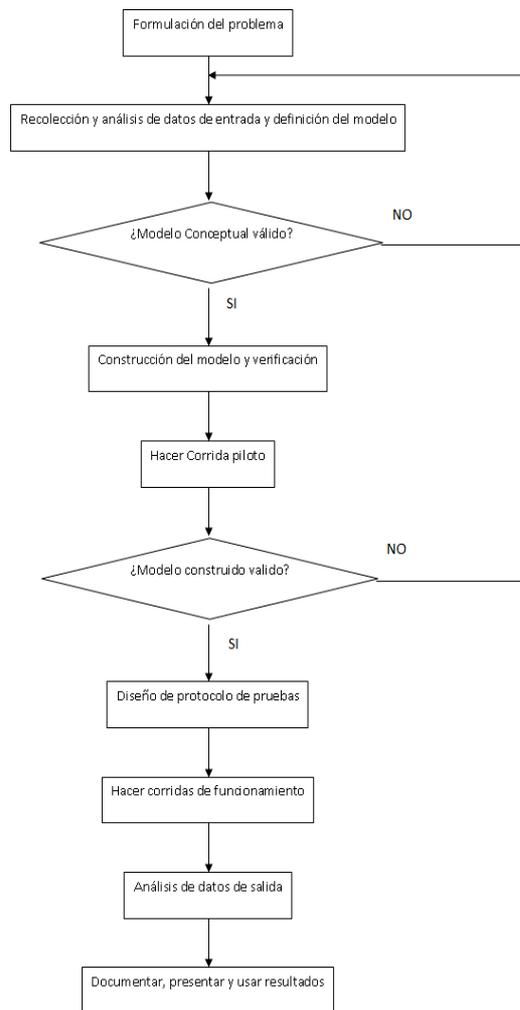


Figura 4.1. Metodología de diseño.¹⁵⁹

¹⁵⁹ Fuente Propia

4.1 DEFINICIÓN DEL SISTEMA BAJO ESTUDIO.

En esta etapa es necesario conocer el sistema a modelar. Para ello se requiere saber qué origina el estudio de simulación y establecer los supuestos del modelo: es conveniente definir con claridad las variables de decisión del modelo, determinar las interacciones entre éstas y establecer con precisión los alcances y limitaciones que aquel podría llegar a tener.

En nuestro caso vamos a definir el estudio del Sistema Contador y Separador de Varillas, por lo cual será necesario una simulación del sistema contador y otra del sistema separador.

4.1.1 SISTEMA CONTADOR:

Este sistema se encarga básicamente del conteo de varillas que se encuentran en el manto, además de ir acumulando el conteo y dar aviso cuando se formó el paquete de varillas, indicando así el posicionamiento en el que se debe ubicar el Separador.

4.1.2 SISTEMA SEPARADOR:

EL sistemas separador es un ayudante para formar paquetes, ya finalizado el conteo el sistema se encarga de separar las varillas que son necesarias para el manto requerido.

4.2 GENERACIÓN DEL MODELO DE SIMULACIÓN BASE.

Una vez que se ha definido el sistema en términos de un modelo conceptual, la siguiente etapa del estudio consiste en la generación de un modelo de simulación base. No es preciso que este modelo sea demasiado detallado, pues se requiere mucha más información estadística sobre el comportamiento de las variables de decisión del sistema.

Sistema Contador y Separador: Se realizara una simulación en base a la figura referencial en el capítulo 3.

4.3 RECOLECCIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS.

De manera paralela a la generación del modelo base, es posible comenzar la recopilación de la información estadística de las variables aleatorias del modelo. En esta etapa se debe determinar qué información es útil para la determinación de las distribuciones de probabilidad asociadas a cada una de las variables aleatorias innecesarias para la simulación. Aunque en algunos casos se logra contar con datos estadísticos, suele suceder que el formato de almacenamiento o de generación de reportes no es el apropiado para facilitar el estudio. Por ello es muy importante dedicar el tiempo suficiente a esta actividad. Al finalizar la recolección y análisis de datos para todas las variables del modelo, se tendrán las condiciones necesarias para generar una versión preliminar del problema que se está simulando.

4.3.1 SISTEMA SEPARADOR:

En este sistema se va a simular la entrada de datos de una carpeta de fotografías tomadas de los mantos de varillas con el efecto de la iluminación, además de simular en el mismo programa las entradas de los sensores que deben estar en campo.

4.3.2 SISTEMA CONTADOR:

Los datos de ingreso se hacen referencia a los datos usados para el cálculo del Diseño Mecánico el Capítulo 3.

4.4 GENERACIÓN DEL MODELO PRELIMINAR.

En esta etapa se integra la información obtenida a partir del análisis de los datos, los supuestos del modelo y todos los datos que se requieran para tener un modelo lo más cercano posible a la realidad del problema bajo estudio. Al finalizar esta etapa el

modelo está listo para su primera prueba: su verificación o, en otras palabras, la comparación con la realidad.

4.3.1 SIMULACIÓN DEL PROCESO.

En este inciso se hará una simulación del proceso de iniciación y puesta en marcha del sistema de control de visión.

1. Inicio del proyecto del Sistema Contador y separador de varillas: la figura 4.2 muestra la pantalla de conexión de la cámara para dar inicio al arranque del sistema de control desarrollado.

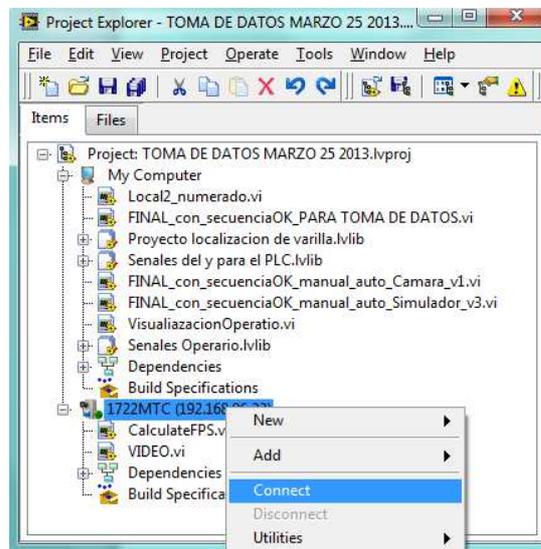


Figura 4.2 Conexión de la cámara ¹⁶⁰

2 Iniciamos el programa de la cámara para obtener imágenes. La figura 4.3 muestra la pantalla del software de video de la adquisición de imágenes por parte de la Smart cámara NI 1722.

¹⁶⁰ Fuente Propia

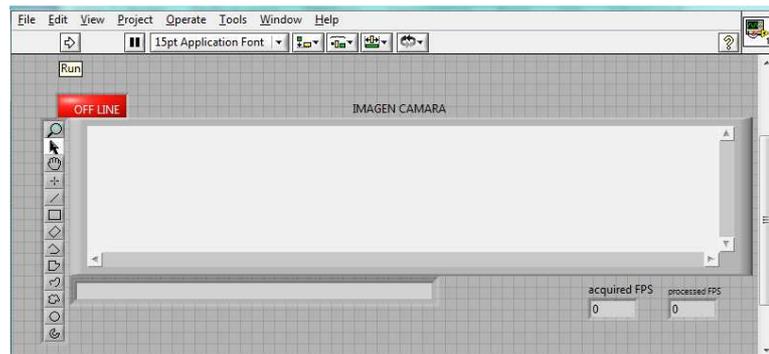


Figura 4.3 Pantalla de obtención de imágenes desde la cámara ¹⁶¹

3 Hay que ingresar los datos con los que se va a trabajar el turno de producción, la figura 4.4 muestra los datos que se deben ingresar.

Figura 4.4 Ingreso de datos de producción a realizarse ¹⁶²

4 Correr el programa contador y separador de varillas, mostrado en la figura 4.5.



Figura 4.5 Pantalla de controles del Contador y separador de varillas ¹⁶³

¹⁶¹ Fuente Propia

¹⁶² Fuente Propia

¹⁶³ Fuente Propia

5 Seleccionar modo: aquí debemos seleccionar el modo de operación, descritos en el capítulo 3.

5.1 Separador Apagado, figura 4.6



Figura 4.6 Controles del sistema separador ¹⁶⁴

5.1.1 Presionar procesar imagen, figura 4.7

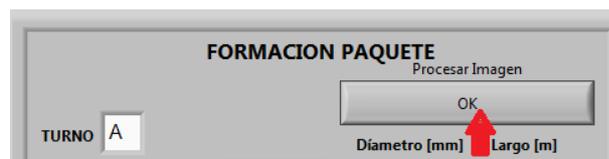


Figura 4.7 Simulación de entradas de imágenes ¹⁶⁵

5.1.2 El software implementado captura la imagen de la Smart Camara, abre la imagen y la procesa, dando como resultado los valores de Conteo de varilla, figura 4.8.

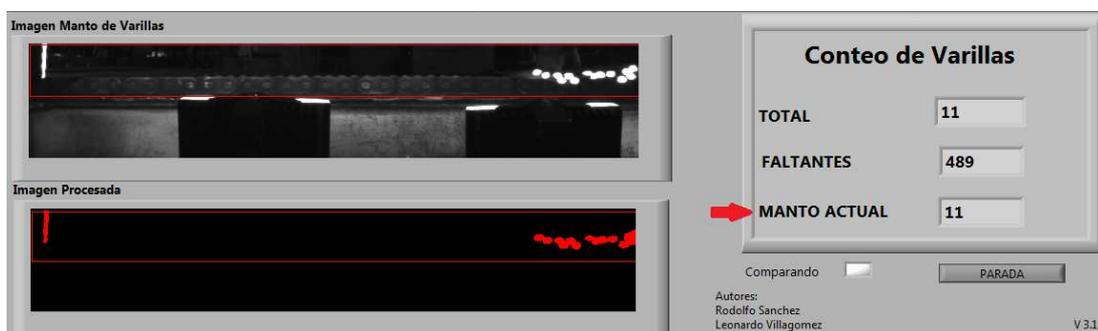


Figura 4.8 Simulación de conteo de imágenes ¹⁶⁶

¹⁶⁴ Fuente Propia

¹⁶⁵ Fuente Propia

5.1.3 Se repite el procesamiento de imagen, hasta que el paquete este próximo a acabar, figura 4.9.



Figura 4.9 Simulación de conteo de imágenes, paquete próximo a acabar. ¹⁶⁷

5.1.4 En el siguiente manto puede ser que venga el número necesario de varillas para completar el paquete, si es así, el programa acabará de conformar el paquete e iniciará otro con las varillas restantes del anterior (figura 4.11), caso contrario acumulara el siguiente manto, figura 4.10.

¹⁶⁶ Fuente Propia

¹⁶⁷ Fuente Propia

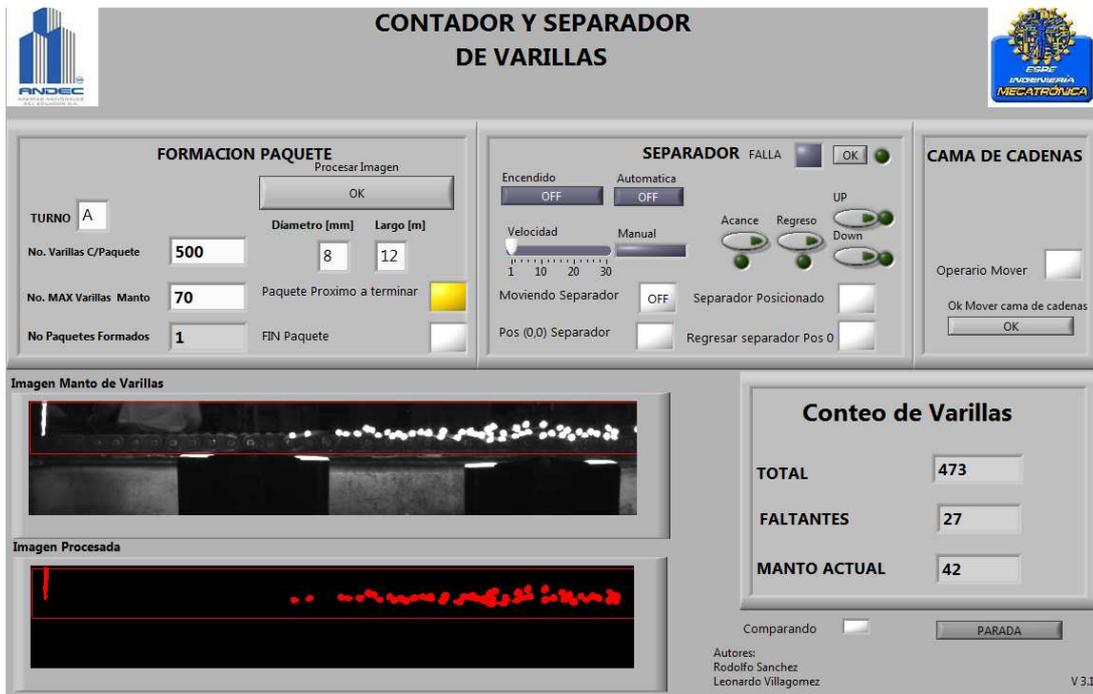


Figura 4.10 Acumulación de manto de varillas ¹⁶⁸



Figura 4.11 Formación de paquete de varillas ¹⁶⁹

5.2 Modo Automático, figura 4.12.



Figura 4.12 Separador modo automático ¹⁷⁰

¹⁶⁸ Fuente Propia

¹⁶⁹ Fuente Propia

5.2.1 Presionar Procesar Imagen, para terminar de formar el paquete con el siguiente manto, figura 4.13

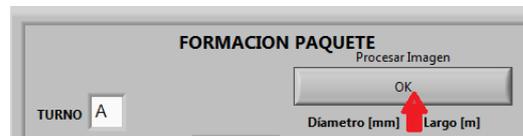


Figura 4.13 Simulación de siguiente manto de varillas ¹⁷¹

5.2.2 Programa captura la imagen de la Smart Camara, abre la imagen y la procesa, dando como resultado los valores de Conteo de varilla, figura 4.14

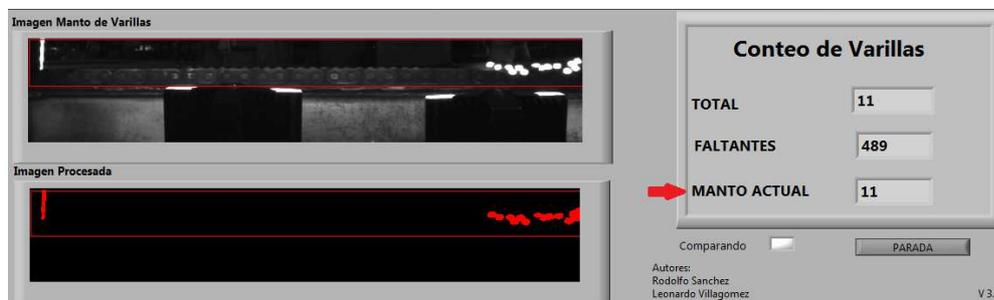


Figura 4.14 Conteo de varillas ¹⁷²

5.2.3 Se repite el procesamiento de imagen, hasta que el paquete este próximo a acabar, figura 4.15.



Figura 4.15 Paquete próximo a acabar modo automatico ¹⁷³

¹⁷⁰ Fuente Propia

¹⁷¹ Fuente Propia

¹⁷² Fuente Propia

5.2.4 En el siguiente manto puede ser que venga el número necesario de varillas para completar el paquete, si es así, el programa enviara el dato de ubicación de la varilla conformadora de paquete, figura 4.16 y figura 4.17.

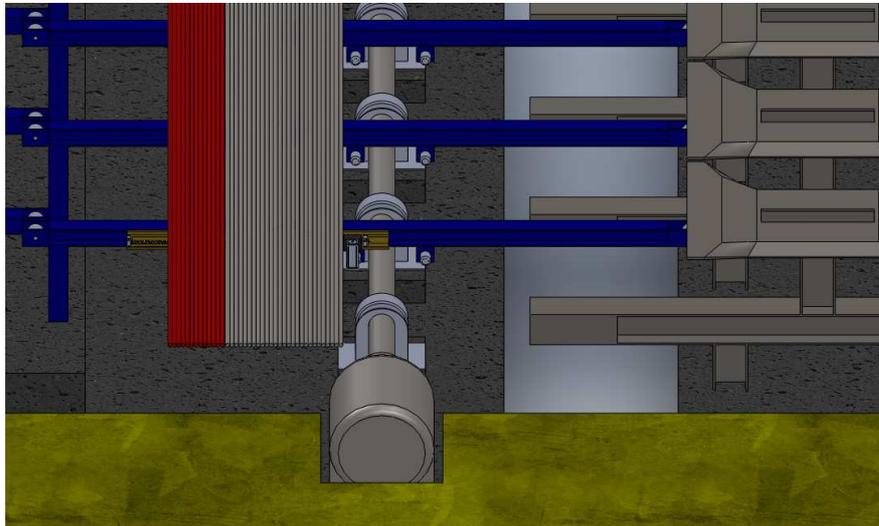


Figura 4.16 Varillas necesarias para formar el paquete ¹⁷⁴



Figura 4.17 Sistema separador encendido ¹⁷⁵

5.2.5 El separador se posiciona con el pistón salido, y envía la señal para que operario mueva la cama de cadenas, figuras 4.18, 4.19, 4.20, 4.21.

¹⁷³ Fuente Propia

¹⁷⁴ Fuente Propia

¹⁷⁵ Fuente Propia

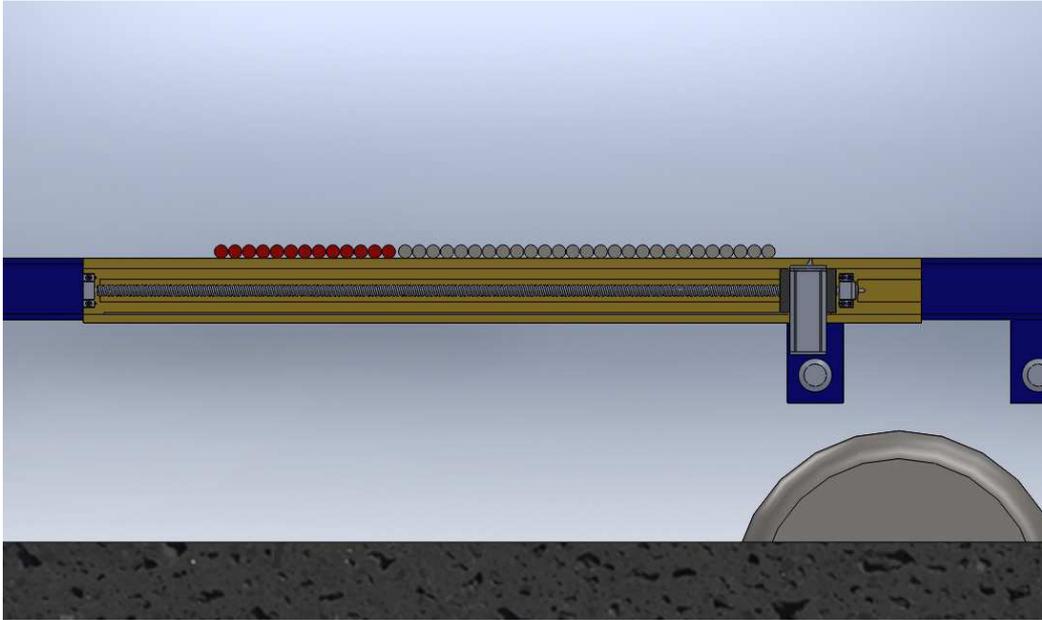


Figura 4.18 Inicio de proceso de separador ¹⁷⁶

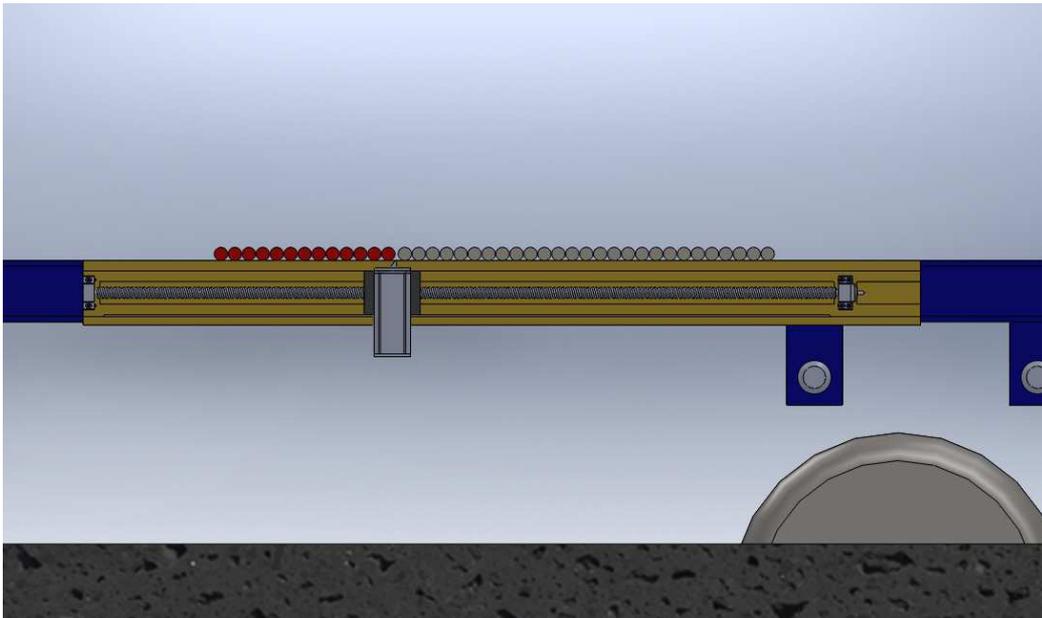


Figura 4.19 Ubicación de separador ¹⁷⁷

¹⁷⁶ Fuente Propia

¹⁷⁷ Fuente Propia

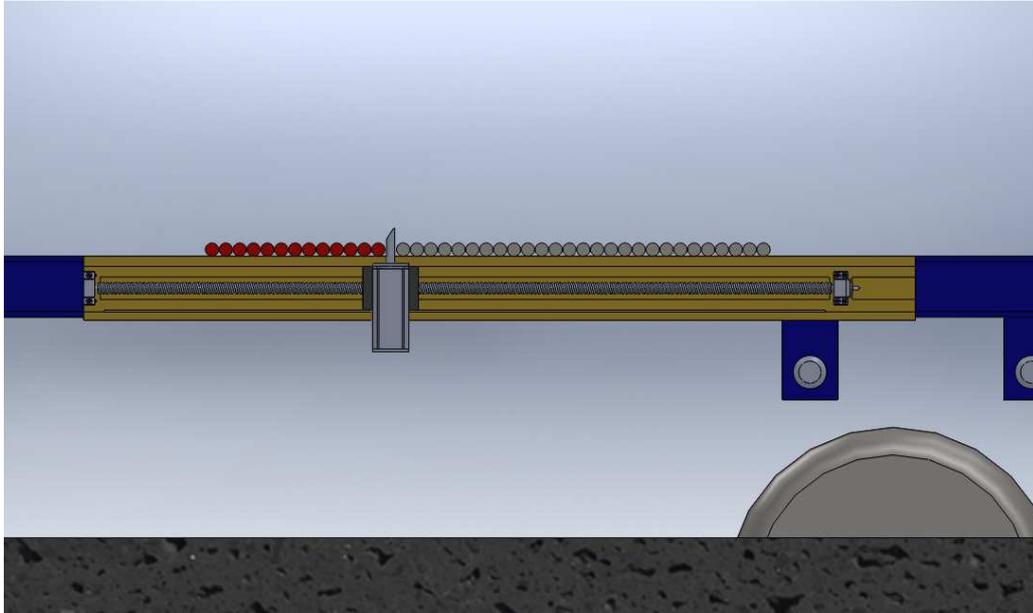


Figura 4.20 Separación de varillas ¹⁷⁸



Figura 4.21 Sistema separador posicionado ¹⁷⁹

5.2.6 el operario presiona el botón OK mover cama de cadenas, una vez que ya haya movido la cama de cadenas. Y el sistema separador regresa a su posición home, figuras 4.22, 4.23, 4.24.

¹⁷⁸ Fuente Propia

¹⁷⁹ Fuente Propia

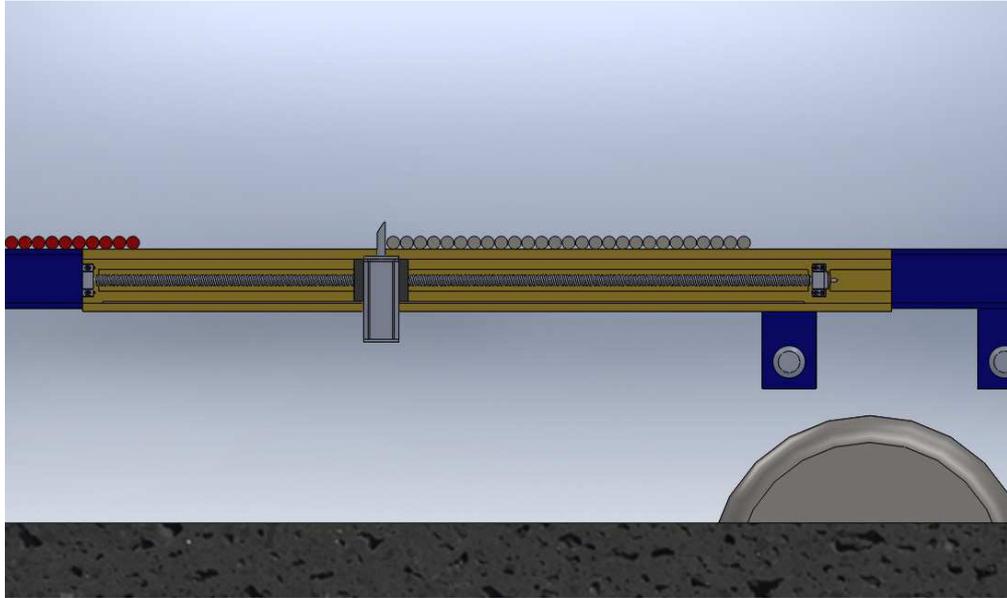


Figura 4.22 Movimiento de manto para separar varillas ¹⁸⁰

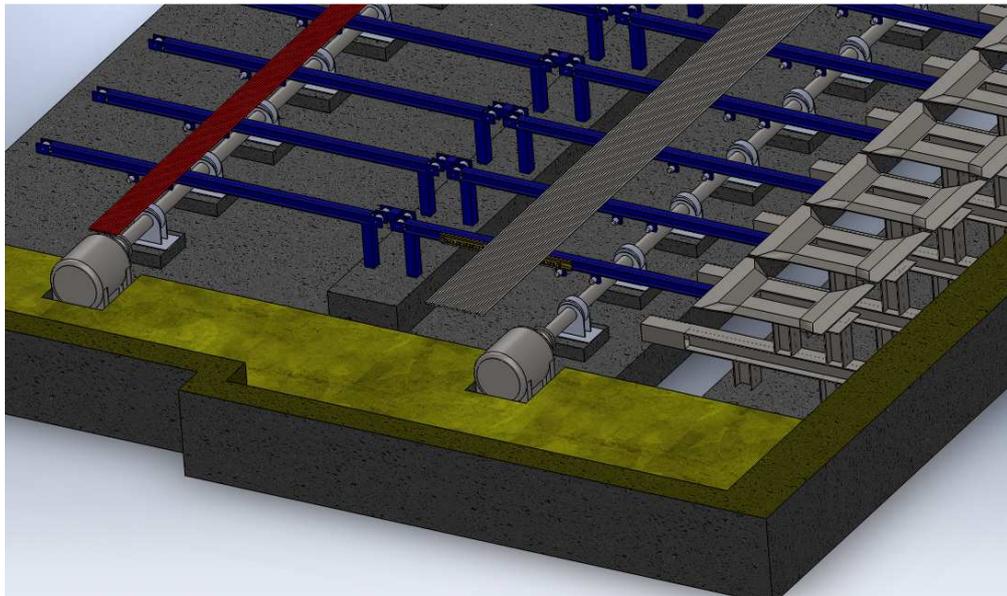


Figura 4.23 Varillas separadas ¹⁸¹

¹⁸⁰ Fuente Propia

¹⁸¹ Fuente Propia



Figura 4.24 Varillas separadas por la cama de cadenas ¹⁸²

5.2.7 Se termina el paquete y se repite el proceso, figura 4.25.

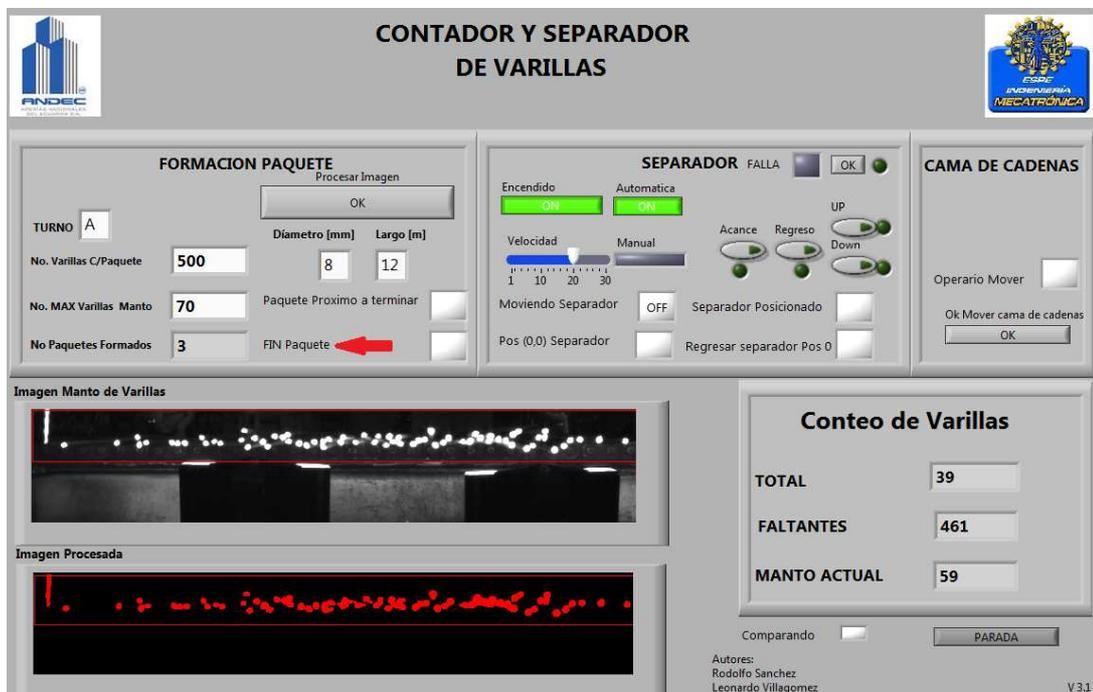


Figura 4.25 Nueva formación de paquete ¹⁸³

5.3 Separador Manual, se programó un estado de operación manual del separador por motivos de pruebas y en caso de posicionar manualmente en caso de error o cualquier necesidad extra que pueda tener el operario, figura 4.26.

¹⁸² Fuente Propia

¹⁸³ Fuente Propia



Figura 4.26 Separador Modo Manual. ¹⁸⁴

5.3.1 Avance. Presionando este botón, el separador se mueve en dirección izquierda- derecha, figura 4.27



Figura 4.27 Avance del separador ¹⁸⁵

5.3.2 Regreso. Presinando este botón, el separador se mueve en dirección derecha-izquierda, figura 4.28.



Figura 4.28 Regreso del separador ¹⁸⁶.

¹⁸⁴ Fuente Propia

¹⁸⁵ Fuente Propia

¹⁸⁶ Fuente Propia

5.3.2 UP. Presionando este botón, el pistón del separador saldrá de abajo hacia arriba.



Figura 4.29 Separador arriba ¹⁸⁷

5.3.3 Down. Presionando este botón, el pistón del separador regresará de arriba hacia abajo.



Figura 4.30 Separador abajo. ¹⁸⁸

5.4. Falla. Cuando se produce una falla, esta dispara una alarma al HMI desarrollado. Figura 4.31



Figura 4.31 Alarma de falla del sistema separador ¹⁸⁹

¹⁸⁷ Fuente Propia

¹⁸⁸ Fuente Propia

5.4.1 Reconocimiento de Falla, presionar en botón Falla OK (figura 4.32), lo cual indica que el operario reconoce la falla y puede continuar con el trabajo que está realizando.



Figura 4.32 Reconocimiento de falla ¹⁹⁰

4.5 VERIFICACIÓN DEL MODELO.

Una vez que se modela y se han implantado los supuestos acordados, es necesario realizar un proceso de verificación de datos para comprobar la propiedad de la programación del modelo, y comprobar que todos los parámetros usados en la simulación funcionen correctamente. Ciertos problemas, en especial aquellos que requieren muchas operaciones de programación o que involucran distribuciones de probabilidad difíciles de programar, pueden ocasionar que el comportamiento del sistema sea muy diferente del que se esperaba. Por otro lado, no se debe descartar la posibilidad de que ocurran errores humanos al alimentar el modelo con la información. Incluso podría darse el caso de que los supuestos iniciales hayan cambiado una o varias veces durante el desarrollo del modelo. Por lo tanto, debemos asegurarnos de que el modelo que se va a ejecutar esté basado en los más actuales.

Una vez que se ha completado la verificación, el modelo está listo para su comparación con la realidad del problema que se está modelando. E implementar el sistema desarrollado.

¹⁸⁹ Fuente Propia

¹⁹⁰ Fuente Propia

CAPÍTULO V

IMPLEMENTACION

En este capítulo se mostrará la implementación del sistema contador y separador de varillas, mostrando las pruebas en frío y con carga del sistema.

5.1 IMPLEMENTACIÓN MECÁNICA

Para la implementación de la parte mecánica se lo realizó por partes debido a la disponibilidad del espacio en la cama de cadenas, por lo que la instalación de los elementos mecánicos se lo dividió de manera de los equipos que se encontraban disponibles, por lo que se implementó en el siguiente orden:

5.1.1 SOPORTE DE LA CÁMARA Y LA PRIMERA ILUMINACIÓN.

Al disponer de la cámara en primer lugar se mandó a realizar la construcción de su estructura de soporte además de incluir en la misma el soporte de la primera iluminación adquirida, VCN-2, es necesario en su instalación la alineación con el manto de varillas, además de hacer referencia a la distancia en la que se debe encontrar la cámara, calculado en el capítulo 3, ubicando la estructura en la parte final del transportador de mantos hacia la cama de cadenas, figura 5.1.

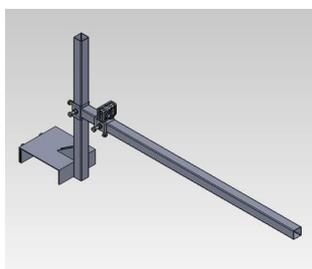


Figura 5.1 Soporte Cámara ¹⁹¹

¹⁹¹ Fuente Propia

5.1.2 SOPORTE DE LA ILUMINACIÓN.

Haciendo referencia al primer soporte se debe alinear al soporte de la cámara, además que se cuenta con dos filas de iluminación se las debe ubicar según las distancias y ángulos para su óptima iluminación del manto de varillas, calculado en el capítulo 3, para lo cual, primero, es necesario colocar placas de anclaje para instalar el soporte que se encuentran soldadas tal piso junto a la cama de cadenas. Figura 5.2



Figura 5.2 Soporte Iluminación¹⁹²

5.1.3 SISTEMA SEPARADOR.

Para la implementación de la bancada es necesario instalar en primer lugar los soportes de la bancada del separador, los cuales se soldaron a los soportes de la primera cama de cadenas, además de verificar la alineación de estos, para garantizar el funcionamiento del mismo, ya realizado esta parte de alineación se procede a la instalación de la bancada, la misma que ya se encuentra ensamblada quedando solo por ajustar los pernos de alineación de la corredera, procurando empatar el inicio de la carrera del tornillo con el campo de visión de la cámara, figura 5.3.

¹⁹² Fuente Propia

Para la instalación tanto de los soportes como de la bancada es necesario realizarlo durante una parada de producción de laminación de mínimo de 2 horas, debido a que la bancada se encuentra de las varillas que se encuentran calientes además de estar expuesto a filos cortantes debido al corte de la varillas.



Figura 5.3 Bancada Sistema Separador ¹⁹³

Cabe aclarar que para la instalación de las estructuras de soporte de equipos fue necesario la presencia del personal de Mantenimiento Mecánico de Laminación, para coordinar lugares disponibles de trabajo, además que el mismo personal instalaron un punto de toma de aire con su respectiva unidad de mantenimiento y electroválvula para el funcionamiento del circuito neumático del separador de varillas.

Ya contando con el punto de toma de aire se conecta la electroválvula con el cilindro neumático, quedando para finalizar la implementación del sistema energizar el mismo, para poder correr las pruebas de funcionamiento.

¹⁹³ Fuente Propia

5.2 IMPLEMENTACIÓN ELÉCTRICO - ELECTRÓNICO

SISTEMA SEPARADOR

En este apartado se describirá el montaje del sistema eléctrico – electrónico del sistema separador hasta la fecha 15 de mayo del 2013 en la sección de conteo de varillas del proceso de laminación de varillas corrugadas, justificando este alcance en base a los acontecimientos que se han dado durante el transcurso del desarrollo del presente proyecto.

Debemos comentar que toda la implementación eléctrica – electrónica del sistema separador, se lo realizó en coordinación y apoyo del departamento eléctrico de laminación de ANDEC S.A.

5.2.1 ALCANCE.

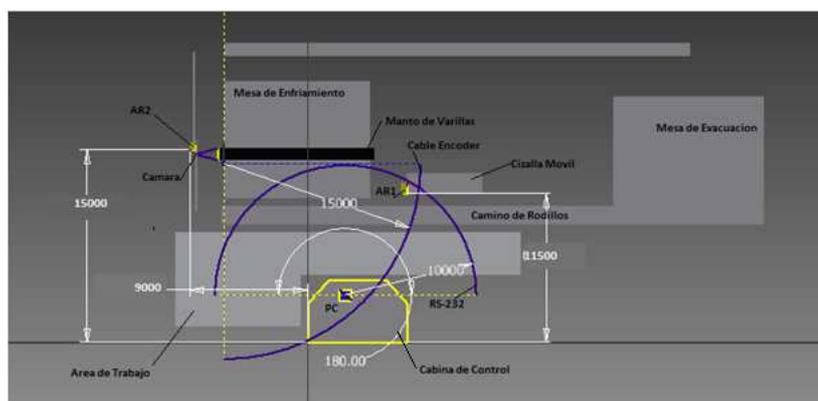
Se ha realizado la conexión de los elementos eléctricos-electrónicos en base al plano eléctrico 01 (ver Anexos A) en un armario de control (AR1) tipo industrial, la tabla 5.1 muestra las características del armario, la figura 5.4 muestra una fotografía del armario implementado.

Los planos eléctricos fueron elaborados en base a la norma europea EN 60617 usada en la empresa.

| ARMARIO DE CONTROL AR1 | |
|--------------------------------|---|
| Característica Técnicas | |
| Dimensiones | 850x660x250 [mm] |
| Diseño bajo norma | IEC 62271-200 |
| Material | Láminas de acero de 2mm |
| Pintura | Electrostatica en polvo de resina epoxica |
| Color | Estándar (RAL 7032) |
| Piastra | SI |
| Dimensiones Piastra | 780x620x30 [mm] |

Tabla 5.1 Características técnicas Armario de Control Separador Mecánico (AR1)¹⁹⁴Figura 5.4 Fotografía Armario (AR1) implementado.¹⁹⁵

La figura 5.5, muestra la localización ideal de AR1 y PC, tomando en cuenta la longitud máxima del cable de comunicación RS-232, el cable apantallado del encoder (Feedback Signal) (ver plano eléctrico 01 Anexo A), y las distancias existentes entre la cabina de control y el sistema contador y separador de varillas; mientras que la figura 5.6 muestra la localización temporal para realización de pruebas del sistema.

Figura 5.5 Vista de Planta, Localización ideal de armarios AR1, AR2 y PC ¹⁹⁶¹⁹⁴ Fuente Propia¹⁹⁵ Fuente Propia¹⁹⁶ Fuente Propia

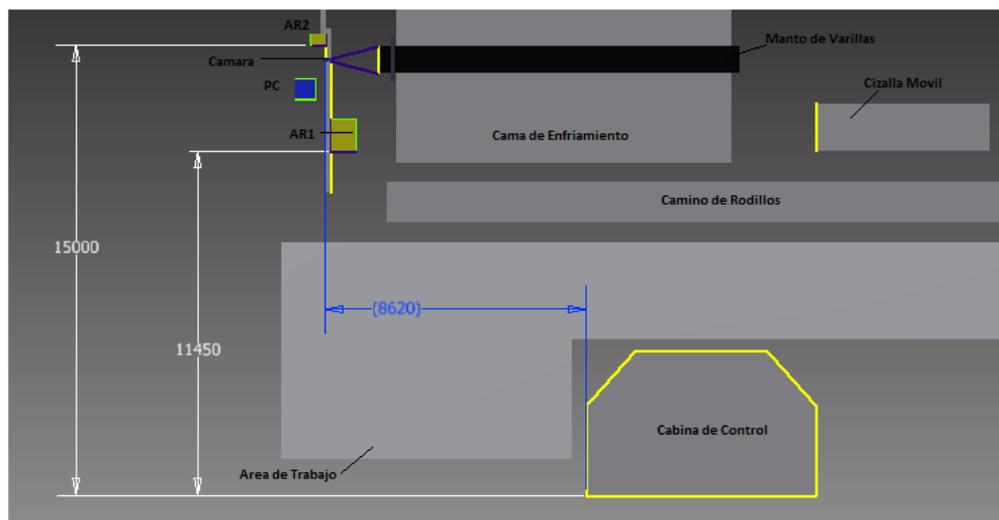


Figura 5.6 Vista de Planta, Localización temporal de armarios AR1, AR2 y PC

197

Como se puede notar de las figuras 5.5 y 5.6, el alcance de implementación del sistema eléctrico electrónico del separador, llegó al punto de: conexión de armario en base a los planos eléctricos, y posicionamiento temporal del armario AR1 y PC solo para pruebas, no de manera definitiva.

5.2.2 JUSTIFICACIÓN.

El armario AR1, y PC no pudieron ser instalados en la posición ideal descrita en la figura 5.5, debido a las siguientes razones:

- La empresa no adquirió, hasta la fecha de implementación, el cable RS-232 de longitud 15[m]; necesario para conectar el PLC a la computadora (PC). Por lo cual el computador no pudo ser instalado en la cabina de control. (Anexo D Requerimiento de compra al departamento de Logística)
- La empresa no adquirió el cable apantallado de 20[m], necesario para conectar el encoder del servo motor al servo drive. (Anexo D Requerimiento de compra al departamento de Logística)

¹⁹⁷ Fuente Propia

- El cable RS-232 usado y disponible para el desarrollo de la tesis mide 1,5[m] de longitud.
- El cable apantallado usado y disponible para el desarrollo de la tesis mide 3[m] de longitud.
- La localización temporal del armario AR1, impide el libre tránsito de operarios.
- La PC queda expuesta a la intemperie, la posición ideal debe ser dentro de la cabina de Control.

Por las razones antes mencionadas, el armario AR1 y PC no pueden ser instalados de manera definitiva en su posición ideal, solo de manera temporal, con motivos de realización de pruebas del sistema.

5.3 IMPLEMENTACIÓN SISTEMA DE VISIÓN ARTIFICIAL.

En este apartado se tratara el avance de implementación del sistema de visión artificial, es decir la implementación de la cámara, lente, iluminación y software de control.

Se ha realizado la conexión de los módulos de alimentación de las iluminaciones RayTec 50 y alimentación de la cámara en un armario tipo industrial (AR2) de acuerdo al plano eléctrico 02 (Ver anexo A), La tabla 5.2 muestra las características técnicas del armario. La figura 5.7 muestra una fotografía del armario AR2 implementado.

| ARMARIO DE ALIMENTACIÓN ILUMINACIÓN (AR2) | |
|--|---|
| Característica Técnicas | |
| Dimensiones | 400x350x250 [mm] |
| Diseño bajo norma | IEC 62271-200 |
| Material | Láminas de acero de 2mm |
| Pintura | Electrostatica en polvo de resina epoxica |
| Color | Estándar (RAL 7032) |
| Fondo Falso | SI |

Tabla 5.2 Características técnicas Armario de Alimentación Iluminaciones y Cámara
(AR2)¹⁹⁸



Figura 5.7 Fotografía Armario de alimentación.¹⁹⁹

Se han montado las iluminaciones de acuerdo a las dimensiones establecidas en el cap. 3. La figura 5.8 muestra una fotografía editada²⁰⁰ de las iluminaciones, cámara y lentes implementados en sitio.

¹⁹⁸ Fuente Propia

¹⁹⁹ Fuente Propia

²⁰⁰ Por motivos de la empresa, se quitarán cualquier logo o infraestructura ajena al proyecto.



Figura 5.8 Fotografía Iluminación, cámara y lente implementados ²⁰¹

La figura 5.6 muestra el posicionamiento del armario AR2.

Se ha desarrollado el software de control de visión artificial en el entorno labview, de acuerdo a los algoritmos descritos en el cap. 3.

5.4 IMPLEMENTACIÓN CONTROL DEL SEPARADOR.

Se desarrolló e implemento el software de control del sistema separador en lenguaje tipo escalera, cargándose el programa desarrollado en el PLC Xinje. Como ya se explicó anteriormente en el cap. 3, la comunicación se la realiza por medio del protocolo modbus, compartiendo información, y datos de tipo binario y de tipo Word.

5.5 INTEGRACIÓN DEL SISTEMA DE VISIÓN ARTIFICIAL Y SEPARADOR.

Una vez posicionado los armarios AR1, AR2 y PC, se procedió a conectarlos y realizar las pruebas de funcionamiento, la figura 5.9 muestra una fotografía del sistema implementado.

²⁰¹ Fuente Propia.



Figura 5.9 Fotografía sistema contador y separador de varillas²⁰²

5.6 PRUEBAS EN FRIO DEL SISTEMA.

Terminada la implementación y energizado el sistema es primordial reconocer nuevamente el sistema verificando conexiones, ajuste y alineación para comenzar con las pruebas de funcionamiento, las cuales se van a dividir en 2 partes las mismas que se detallan a continuación:

5.6.1 PRUEBAS SIN CARGA.

La finalidad de estas pruebas es verificar, tal como dice el nombre, el funcionamiento del separador sin someter ninguna fuerza o carga en el mismo, para comprobar la buena marcha del mismo.

5.6.1.1 Funcionamiento del sistema neumático.

Comprobar la presión de aire disponible en la empresa y el correcto funcionamiento del cilindro neumático con sus accesorios.

5.6.1.2 Comprobación de movimiento y deslizamiento de partes móviles.

Es vital comprobar que todas las partes móviles no se atasquen en su recorrido ya que esto puede afectar al funcionamiento del motor.

²⁰² Fuente Propia

5.6.1.3 Recorrido de la mesa de deslizamiento

Se debe comprobar que la el recorrido se encuentre bien delimitado evitando así desfases en el posicionamiento del separador.

5.6.1.4 Velocidad del sistema.

Verificar a diferentes velocidades el funcionamiento del separador basándose en los cálculos realizados en el capítulo 4.

5.6.1.5 Precisión de posicionamiento.

Correr pruebas con varillas en la mesa de cadenas para ver el nivel de precisión del separador.

Para lo cumplir estos requisitos es necesario cumplir con un protocolo de pruebas, a los que se va a regir el sistema separador. En donde los datos serán tomados de acuerdo a las tablas 5.3, 5.4, 5.5

| SISTEMA NEUMÁTICO | | | |
|---------------------------|--------------------------|--------------------------|-----------------|
| Presión disponible: 2 bar | | | |
| Prueba | Solenoides A1 (V) | Solenoides A2 (V) | Posición |
| 1 | 0 | 24 | Abajo |
| 2 | 24 | 0 | Arriba |
| 3 | 0 | 24 | Abajo |

Tabla 5.3 Prueba Neumática ²⁰³

| Recorrido: 900 mm | | |
|--------------------------|----------------------|--------------------------|
| Velocidad | Distancia ida | Distancia Regreso |
| 10 | 900 | 900 |
| 20 | 900 | 900 |
| 30 | 900 | 900 |

Tabla 5.4 Recorrido y velocidad de la Bancada ²⁰⁴

²⁰³ Fuente Propia

| SEPARACIÓN DE VARILLAS | | | |
|-------------------------------|--------------------------|----------------------------|---------------------------|
| Presión disponible: 2 bar | | | |
| Prueba | Manto de varillas | Varillas necesarias | Varillas Separadas |
| 1 | 12 | 9 | 10 |
| 2 | 12 | 8 | 8 |
| 3 | 12 | 1 | 1 |
| 4 | 12 | 4 | 4 |
| 5 | 12 | 5 | 6 |
| 6 | 12 | 0 | 0 |
| 7 | 12 | 7 | 7 |
| 8 | 12 | 2 | 2 |
| 9 | 12 | 9 | 10 |
| 10 | 12 | 10 | 10 |

Tabla 5.5 Prueba Separación de varillas²⁰⁵

5.6.1.6 Pruebas de eficiencia de iluminación y filtro.

Para determinar la eficiencia de la iluminación infrarroja a 850 nm de longitud de onda, conjuntamente con el filtro infrarrojo y la cámara, en la adquisición de imágenes, se realizaron capturas de imagen de mantos durante todo el día, el modo de comprobación de la eficiencia se ha considerado usar el histograma de la imagen para determinar si afecta o no los cambios de iluminación ambiental al proceso de adquisición. Las figuras 5.10, 5.11, 5.12 y 5.13, muestran los histogramas de imágenes adquiridas en la mañana (8am), en la tarde (1pm), en la noche (8pm), y en la madrugada (3am) respectivamente.

²⁰⁴ Fuente Propia

²⁰⁵ Fuente Propia

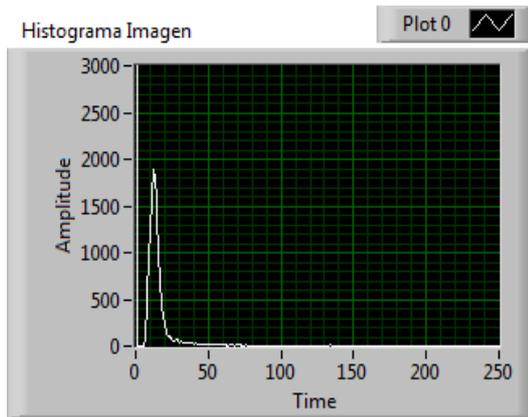


Figura 5.10 Histograma de Imagen Adquirida en la mañana. (8am).²⁰⁶

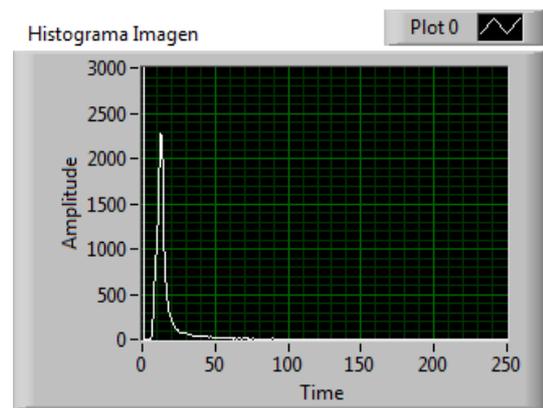


Figura 5.11 Histograma de Imagen Adquirida en la tarde (1pm).²⁰⁷

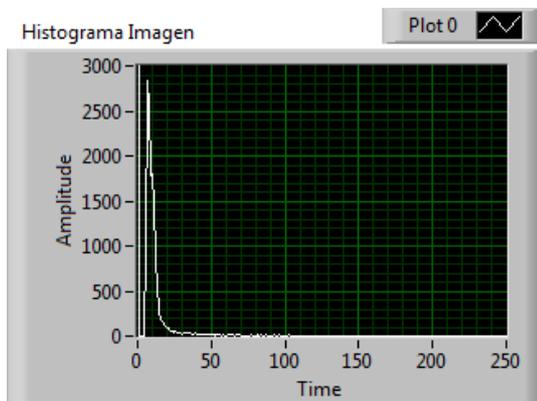


Figura 5.12 Histograma de Imagen Adquirida en la noche (8pm).²⁰⁸

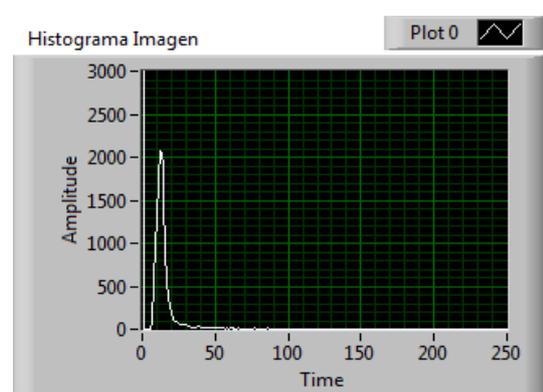


Figura 5.13 Histograma de Imagen Adquirida en la madrugada (3am).²⁰⁹

Estudiando los histogramas antes presentados se puede notar que la variabilidad es mínima, los valores entre blanco y negro están muy bien marcados entre un rango de [0-50] para el blanco y [50 -255] para el negro, esto nos indica que el histograma de las imágenes durante todo el día se mantiene constante, lo que es un resultado favorable para una aplicación de visión artificial a la intemperie como el caso del presente proyecto.

²⁰⁶ Fuente Propia

²⁰⁷ Fuente Propia

²⁰⁸ Fuente Propia

²⁰⁹ Fuente Propia

El valor de eficiencia de la iluminación va de la mano con el proceso de conteo, por lo cual se calculará su valor numérico dentro del proceso de conteo final.

5.6.1.7 Pruebas de conteo y optimización de parámetros de algoritmo de procesamiento.

Para fines de pruebas y optimización de parámetros del algoritmo de procesamiento de imagen descrito en el cap. 3, se tomaron muestras de mantos de varillas de diferente diámetro durante la producción de ANDEC S.A, cabe indicar que por motivos de producción de ANDEC desde la fecha 17 abril, hasta el 17 de mayo del 2013 solo se han tomado muestras de varillas de 8, 14 y 25 [mm] de diámetro.

Para el tamaño de muestreo de la población, se usara Formula 5.1, formula usada estadísticamente para calcular el tamaño de la muestra teniendo una población ya definida, entendiéndose como población al número de fotografías tomadas para los diferentes diámetros de varilla.

$$n = \frac{N}{1 + \frac{e^2(N-1)}{z^2pq}}$$

Fórmula 5.1 Tamaño de muestra estadística ²¹⁰

Dónde:

N: Tamaño conocido de la población

n: Tamaño de la muestra

p: Varianza positiva de la población

q: 1-p; varianza negativa de la población

²¹⁰ <http://www.upcomillas.es/personal/peter/investigacion/Tama%F1oMuestra.pdf>, Tamaño necesario de la muestra Cuantos sujetos necesitamos. Español. p 10

e: error muestral [%]

z: Nivel de confianza; valores de acuerdo a la Tabla 5.6

| Nivel de confianza | Z |
|--------------------|------|
| 99% | 2,56 |
| 95% | 1,86 |
| 90% | 1,65 |

Tabla 5.6 Valores de nivel de confianza estadísticos ²¹¹

Para usar la Formula 5.1, se tendrá en cuenta que la varianza positiva y negativa de la población es igual a 0,5, valor estándar estadísticamente cuando se desconoce este dato. Se requiere un error muestral $\pm 3\%$ con una confiabilidad de 95%.

Aplicando la Fórmula 5.1 obtenemos la Tabla 5.7, la cual nos indica el número de muestras para los diámetros 14, 8 y 25mm.

| Varillas Diámetro [mm] | 14 | 8 | 25 |
|------------------------|------|-----|-----|
| N | 1410 | 558 | 526 |
| n | 470 | 279 | 263 |

Tabla 5.7 Numero de muestras ²¹²

Se ha aplicado el algoritmo de procesamiento de imagen descrito en el cap. 3, para cada una de las imágenes de muestra, habiendo una variante para la varilla de 8[mm], el cual se ha retirado el algoritmo removedor de objetos pequeños.

La tabla 5.8 indica los pasos del algoritmo de procesamiento de imagen usada para cada diámetro de varilla.

²¹¹ <http://www.upcomillas.es/personal/peter/investigacion/Tama%F1oMuestra.pdf>. Tamaño necesario de la muestras cuantos sujetos necesitamos. Español. p 10

²¹² Fuente Propia

| | Varilla Diámetro [mm] | 14 | 8 | 25 |
|-------------|--------------------------------------|---|--------------------------------------|--------------------------------------|
| Paso | 1 | Marcación de Región de interés | Marcación de Región de interés | Marcación de Región de interés |
| | 2 | Filtro abierto | Filtro abierto | Filtro abierto |
| | 3 | Umbral | Umbral | Umbral |
| | 4 | Remover objetos pequeños | Abrir objetos | Remover objetos pequeños |
| | 5 | Abrir objetos | Detección de círculos | Abrir objetos |
| | 6 | Detección de círculos | Obtención de dato de # de varilla | Detección de círculos |
| | 7 | Obtención de dato de # de varilla | | Obtención de dato de # de varilla |

Tabla 5.8 Algoritmo de procesamiento de imagen ²¹³

Cada uno de los pasos del algoritmo de procesamiento tiene su valor de parámetro, y dependiendo de este valor se obtiene el resultado final de exactitud y precisión del conteo final.

Para la obtención de valor de exactitud se realizó el conteo manual de cada una de las imágenes de muestra por cada diámetro de varilla adquirido, y se comparó con los resultados obtenidos por el procesamiento de imagen en diferentes pruebas siguiendo el algoritmo de procesamiento de imagen de la tabla 5.8, con diferentes valores de prueba de parámetros descritos en las tablas 5.9, 5.10, y 5.11 para cada uno de los diámetros de varilla procesado.

| DIÁMETRO 14 | | | | |
|---------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| PASO | Prueba 1 | Prueba 2 | Prueba 3 | Prueba 4 |
| Filtro | Abierto | Abierto | Abierto | Abierto |
| Umbral | 100 | 125 | 150 | 175 |
| Remover objetos pequeños | 2 | 2 | 2 | 2 |
| Objeto | Abrir | Abrir | Abrir | Abrir |

²¹³ Fuente Propia

| DIAMETRO 14 (CONTINUACIÓN) | | | | | |
|-----------------------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| Detección de círculos | Radio Min | 6 | 6 | 6 | 6 |
| | Radio Max | 20 | 20 | 20 | 20 |
| PASO | | Prueba 5 | Prueba 6 | Prueba 7 | Prueba 8 |
| Filtro | | Abierto | Abierto | Abierto | Abierto |
| Umbral | | 200 | 255 | 140 | 130 |
| Remover objetos pequeños | | 2 | 2 | 2 | 2 |
| Objeto | | Abrir | Abrir | Abrir | Abrir |
| Detección de círculos | Radio Min | 6 | 6 | 6 | 6 |
| | Radio Max | 20 | 20 | 20 | 20 |
| PASO | | Prueba 9 | Prueba 10 | Prueba 11 | Prueba 12 |
| Filtro | | Abierto | Cerrado | Abierto | Abierto |
| Umbral | | 126 | 120 | 125 | 125 |
| Remover objetos pequeños | | 2 | 2 | 2 | 3 |
| Objeto | | Abrir | Abrir | Abrir | Abrir |
| Detección de círculos | Radio Min | 6 | 6 | 6 | 6 |
| | Radio Max | 20 | 20 | 20 | 20 |
| PASO | | Prueba 13 | | | |
| Filtro | | Abierto | | | |
| Umbral | | 126 | | | |
| Remover objetos pequeños | | 2 | | | |
| Objeto | | Cerrar | | | |
| Detección de círculos | Radio Min | 6 | | | |
| | Radio Max | 20 | | | |

Tabla 5.9 Valores de parámetros del algoritmo de procesamiento de imagen

Diámetro 14 mm²¹⁴²¹⁴ Fuente Propia

| DIÁMETRO 8 | | | | | |
|---------------------------------|------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| PASO | | Prueba 1 | Prueba 2 | Prueba 3 | Prueba 4 |
| Filtro | | Abierto | Abierto | Abierto | Abierto |
| Umbral | | 100 | 100 | 125 | 175 |
| Remover objetos pequeños | | 2 | 0 | 0 | 0 |
| Objeto | | Abrir | Abrir | Abrir | Abrir |
| Detección de círculos | Radio Min | 1 | 1 | 1 | 1 |
| | Radio Max | 20 | 20 | 20 | 20 |
| PASO | | Prueba 5 | Prueba 6 | Prueba 7 | |
| Filtro | | Abierto | Abierto | Abierto | |
| Umbral | | 150 | 200 | 250 | |
| Remover objetos pequeños | | 0 | 0 | 0 | |
| Objeto | | Abrir | Abrir | Abrir | |
| Detección de círculos | Radio Min | 1 | 1 | 1 | |
| | Radio Max | 20 | 20 | 20 | |

Tabla 5.10 Valores de parámetros del algoritmo de procesamiento de imagen

Diámetro 8 mm²¹⁵

| DIÁMETRO 25 | | | | | |
|---------------------------------|------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| PASO | | Prueba 1 | Prueba 2 | Prueba 3 | Prueba 4 |
| Filtro | | Abierto | Abierto | Abierto | Abierto |
| Umbral | | 100 | 125 | 150 | 175 |
| Remover objetos pequeños | | 2 | 2 | 2 | 2 |
| Objeto | | Abrir | Abrir | Abrir | Abrir |
| Detección de círculos | Radio Min | 2 | 2 | 2 | 2 |
| | Radio Max | 20 | 20 | 20 | 20 |

²¹⁵ Fuente Propia

| DIÁMETRO 25 (CONTINUACIÓN) | | | | | |
|-----------------------------------|------------------|-----------------|------------------|------------------|-----------------|
| PASO | | Prueba 5 | Prueba 6 | Prueba 7 | Prueba 8 |
| Filtro | | Abierto | Abierto | Abierto | Abierto |
| Umbral | | 125 | 125 | 125 | 125 |
| Remover objetos pequeños | | 2 | 2 | 2 | 2 |
| Objeto | | Abrir | Abrir | Abrir | Abrir |
| Detección de círculos | Radio Min | 3 | 4 | 5 | 6 |
| | Radio Max | 20 | 20 | 20 | 20 |
| PASO | | Prueba 9 | Prueba 10 | Prueba 11 | |
| Filtro | | Abierto | Abierto | Abierto | |
| Umbral | | 125 | 150 | 150 | |
| Remover objetos pequeños | | 2 | 2 | 2 | |
| Objeto | | Abrir | Abrir | Abrir | |
| Detección de círculos | Radio Min | 7 | 4 | 5 | |
| | Radio Max | 20 | 20 | 20 | |

Tabla 5.11 Valores de parámetros del algoritmo de procesamiento de imagen
Diámetro 25 mm²¹⁶

Usando los valores de parámetros descritos en las tablas anteriores, se procesaron las imágenes para cada una de las pruebas, comparando con el valor real, es decir el contado manualmente, se obtuvieron los datos de exactitud y precisión, siendo la precisión obtenida por la desviación estándar entre cuantas varillas faltaban o sobraban del procesamiento de imagen Vs el conteo manual. Obteniéndose las tablas 5.12, 5.13, y 5.14 para cada uno de los diámetros procesados. (se adjunta el archivo de Excel con la tabla de valores para cada una de las pruebas y diámetros procesados, con el nombre Análisis de error. xls).

²¹⁶ Fuente Propia

| DIÁMETRO 14 | | | | |
|--------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| | Prueba 1 | Prueba 2 | Prueba 3 | Prueba 4 |
| Exactitud | 2.97 | 2.95 | 3.86 | 5.95 |
| Precisión | 1.39 | 1.64 | 2.09 | 2.6 |
| | Prueba 5 | Prueba 6 | Prueba 7 | Prueba 8 |
| Exactitud | 9.71 | 20.87 | 3.32 | 3.11 |
| Precisión | 3.21 | 4.36 | 1.92 | 1.75 |
| | Prueba 9 | Prueba 10 | Prueba 11 | Prueba 12 |
| Exactitud | 3.04 | 2.93 | 9.09 | 6.66 |
| Precisión | 1.68 | 1.48 | 2.22 | 2.48 |
| | Prueba 13 | | | |
| Exactitud | 9.72 | | | |
| Precisión | 2.31 | | | |

Tabla 5.12 Exactitud y precisión de las pruebas para diámetro 14 mm ²¹⁷

| DIÁMETRO 8 | | | | |
|-------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| | Prueba 1 | Prueba 2 | Prueba 3 | Prueba 4 |
| Exactitud | 22.07 | 21.87 | 14.14 | 11.04 |
| Precisión | 6.66 | 6.61 | 5.67 | 5.27 |
| | Prueba 5 | Prueba 6 | Prueba 7 | |
| Exactitud | 12.58 | 9.44 | 8.03 | |
| Precisión | 5.44 | 5.14 | 4.9 | |

Tabla 5.13 Exactitud y precisión de las pruebas para diámetro 8 mm ²¹⁸

²¹⁷ Fuente Propia

²¹⁸ Fuente Propia

| DIÁMETRO 25 | | | | |
|--------------------|-----------------|------------------|------------------|-----------------|
| | Prueba 1 | Prueba 2 | Prueba 3 | Prueba 4 |
| Exactitud | -5.7 | -3.03 | -2.96 | -3.92 |
| Precisión | 1.27 | 0.79 | 0.82 | 0.95 |
| | Prueba 5 | Prueba 6 | Prueba 7 | Prueba 8 |
| Exactitud | -2.59 | -1.18 | 0.07 | 0.89 |
| Precisión | 0.71 | 0.47 | 0.52 | 0.63 |
| | Prueba 9 | Prueba 10 | Prueba 11 | |
| Exactitud | 2.22 | -0.59 | 0.59 | |
| Precisión | 0.79 | 0.67 | 0.75 | |

Tabla 5.14 Exactitud y precisión de las pruebas para diámetro 25 mm²¹⁹

Dado que la exactitud y la precisión son independientes una de la otra, y tomando en cuenta que entre más bajo son estos niveles, la máquina es mayor calidad y confiabilidad se obtuvo la Tabla 5.15, la cual indica el número de prueba con la que la exactitud del conteo es menor, es decir se tiene un menor error de conteo, siendo este el determinante del algoritmo a usar por el sistema de conteo por medio de visión artificial desarrollado en el presente proyecto de graduación.

| Diámetro [mm] | 14 | 8 | 25 |
|----------------------|-----------|----------|-----------|
| Exactitud [%] | 97,07 | 91,97 | 99,93 |
| Precisión | 1,48 | 4,90 | 0,52 |
| Prueba | 10 | 7 | 7 |

Tabla 5.15 Niveles de Exactitud y Precisión ²²⁰

Dando como resultado final, un error y precisión promedio, expuesto en la Tabla 5.16, del proyecto: “Diseño e implementación de un sistema Automático prototipo para

²¹⁹ Fuente Propia

²²⁰ Fuente Propia

el conteo y separación de varillas para la empresa ANDEC S.A” de 3.67% y 2.30 respectivamente.

| | |
|---------------------------|-------------|
| Error Promedio [%] | 3,67 |
| Precisión Promedio | 2,30 |

Tabla 5.16 Error y Precisión promedio Final ²²¹

Con los datos de tabla 5.14 se obtiene una proyección de la ecuación de la curva que regiría el sistema, de manera teórica, es decir el porcentaje de error y precisión en base al diámetro de la varilla, representados en la figura 5.84.

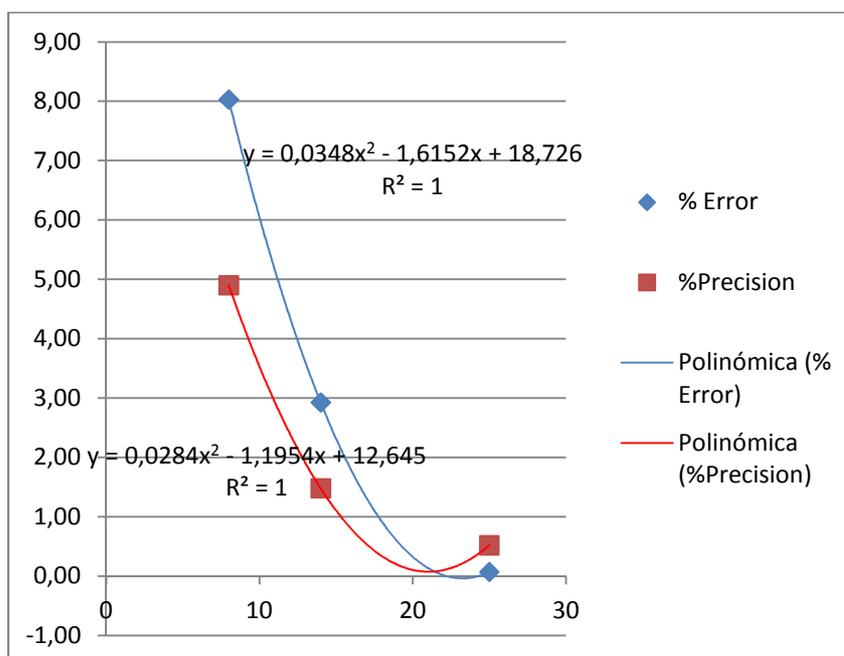


Figura 5.14 Ecuación de %error y precisión Teórico del sistema Contador de varillas ²²²

Se ha usado una ecuación polinomial para la determinación de fórmula de la curva de error y precisión del sistema, dado que es la que más se adapta a los datos obtenidos, representados en las formulas 5.2 y 5.3.

²²¹ Fuente Propia

²²² Fuente Propia

$$\%Error = 0.0348(Diametro^2) - 1.6152(Diametro) + 18.726$$

Fórmula 5.2. Proyección de % error Vs Diámetro ²²³

$$\%Precision = 0.0284(Diametro^2) - 1.1954(Diametro) + 12.645$$

Fórmula 5.3. Proyección de % Precisión Vs Diámetro ²²⁴

5.6.2 PRUEBAS CON CARGA.

Al terminar con la pruebas sin carga, y no tener indicios de falla de la bancada, ahora se tiene como objetivo poner en funcionamiento el separador de varillas en plena producción de las mismas, para lo cual se tomaran los datos en tiempo real.

5.6.2.1 Velocidad de posicionamiento.

Teniendo en cuenta la velocidad máxima que está capacitado el sistema es necesario saber si esta velocidad cumple con el tiempo disponible para ubicarse en el manto de varillas para separar las mismas.

5.6.2.2 Precisión de posicionamiento.

Debemos tener en cuenta que el sistema será capaz de ubicarse en el lugar deseado al realizar el conteo y de separar el número de varillas requerido para formar el paquete.

5.6.2.3 Resistencia a la carga.

Al momento de separar las varillas con el cilindro neumático este se encontrara en flexión debido la carga proporcionada del restante de varillas del paquete movidas por la cama de cadenas.

²²³ Fuente Propia

²²⁴ Fuente Propia

Para cumplir con el procedimiento se debe realizar un protocolo de pruebas el cual examine los parámetros técnicos anteriormente detallados, por lo que se van a tomar los datos en la tabla 5.17:

| PRUEBA CON CARGA | | | | | | |
|---------------------------|--------------------------|----------------------------|---------------------------|-------------------|----------------------------|--|
| Diámetro varilla: 8 mm | | | | | | |
| Velocidad: 500 | | | | | | |
| Presión disponible: 2 bar | | | | | | |
| Prueba | Manto de varillas | Varillas necesarias | Varillas Separadas | Tiempo (s) | Varillas Soportadas | |
| 1 | 75 | 2 | 2 | 5 | 73 | |
| 2 | 81 | 30 | 32 | 13 | 49 | |
| 3 | 76 | 0 | 0 | 0 | 76 | |

Tabla 5.17 Prueba funcionamiento separador

Cabe decir que no se pudo finalizar las pruebas con carga, debido a los siguientes motivos:

- El cambio de producción de varillas a bobinas de alambre, por lo que se solo se obtuvieron datos parciales, ya que para la producción las bobinas se entra a otra etapa de producción en la cual se encuentra descartada la cama de cadenas, por lo que se interrumpió la toma de datos hasta la próxima producción de varillas.
- El desmontaje del sistema separador por motivos de mantenimiento a cadenas en la cama, por motivos de cambio de producción se tuvo que desmontar el sistema separador debido que se iban a realizar trabajos de mantenimiento en la cama de cadenas especialmente el material desgastado de las vigas que se encuentra cerca de la bancada.
- Falta de accesibilidad al área de trabajo en consecuencia al montaje de un nuevo Puente Grúa Aéreo cerca de la zona de pruebas ya que por el momento es el única lugar disponible de trabajo, no se ha podido implementar otra vez el sistema ya que no existe espacio disponible para entrar con la bancada debido a

que no se nos permite el ingreso a esa área, además no hay como llevar material de implementación ya que se encuentra personal ajeno de la empresa realizando trabajos de montaje

CAPÍTULO VI

ANÁLISIS ECONÓMICO Y FINANCIERO

En este capítulo se determinará la viabilidad económica y el retorno de la inversión mediante el análisis de las variables financieras: costos, gastos e ingresos que generarían en la implementación del Prototipo para el Conteo y Separación de Varillas, propuesto para la empresa ANDEC S.A.

6.1 ESTUDIO FINANCIERO

La última etapa del análisis de la viabilidad financiera de un proyecto es el estudio financiero.

Los objetivos de esta etapa son ordenar y sistematizar la información de carácter monetario que proporcionaron las etapas anteriores, elaborar los cuadros analíticos y antecedentes adicionales para la evaluación del proyecto, evaluar los antecedentes para determinar su rentabilidad.²²⁵

Con la finalidad de mostrar el estudio presente se tomará a consideración únicamente los ingresos y costos generados por el prototipo propuesto, esto debido a que en relación a la producción y a los activos totales de la empresa, esta inversión se la considera mínima.

ANDEC S.A., es una empresa de constitución mixta y por tanto se considera como empresa pública, para la proyección de los estados de resultados.

No se considerarán la repartición de utilidades y de excedentes como se dispone en los artículos 25 y 39 de la Ley orgánica de Empresas Públicas (LOEP):

²²⁵ YULIESKY Cristo Devora, Estudio Financiero, 2013, <http://www.econlink.com.ar/proyectos-de-inversion/estudio-financiero> [Consulta: viernes, 16 de mayo de 2013]

Art.25.- NO REPARTO DE UTILIDADES NI EXCEDENTES RESULTANTES DE LA GESTIÓN EMPRESARIAL.- Ninguna utilidad ni ningún excedente será objeto de reparto entre el talento humano que labore en las empresas públicas y mixtas.

Art. 39.- EXCEDENTES.- En cuanto al reparto de excedentes, (...) Los excedentes que no fueran invertidos o reinvertidos se transferirán al Presupuesto General del Estado para que sean utilizados en los fines que la Función Ejecutiva considere pertinente (...)

6.2 PRESUPUESTO UTILIZADO

Para el desarrollo del siguiente punto se tomará en cuenta el detalle de la inversión para la construcción, montaje y elaboración *del Prototipo para el conteo y separación de varillas*, demostrado en la tabla 6.1

| PRESUPUESTO PROYECTO | | | | |
|-----------------------------|-----------------------------------|-----------------|--------------|----------------|
| Ítem | Descripción | P.U. USD | CANT. | P.T USD |
| 1 | Software de visión | 5583.60 | 1.00 | 5583.60 |
| 2 | Módulo de software de visión | 4633.20 | 1.00 | 4633.20 |
| 3 | Cámara | 2376.00 | 1.00 | 2376.00 |
| 4 | Fuente de poder | 151.20 | 2.00 | 302.40 |
| 5 | Lentes de la cámara | 248.40 | 2.00 | 496.80 |
| 6 | Iluminación y filtros para cámara | 1552.60 | 5.00 | 7763.00 |
| 7 | Servo Motor | 1300.00 | 1.00 | 1300.00 |
| 8 | Servo Drive | 1000.00 | 1.00 | 1000.00 |
| 9 | PLC | 500.00 | 1.00 | 500.00 |
| 10 | Cable de comunicación PLC | 40.00 | 1.00 | 40.00 |
| 11 | Transformador 440V a 220V | 845.00 | 1.00 | 845.00 |
| 12 | Pantalla LCD 50" | 1000.00 | 1.00 | 1000.00 |
| 13 | Tornillo de bola 2005 1400mm | 325.00 | 2.00 | 650.00 |

| PRESUPUESTO PROYECTO (CONTINUACIÓN) | | | | |
|--|------------------------------|---------|------------------|----------|
| 14 | Soportes tornillo | 113.55 | 2.00 | 227.10 |
| 15 | Acople de motor | 42.00 | 1.00 | 42.00 |
| 16 | Bandeja articula | 45.00 | 3.00 | 135.00 |
| 17 | Bancada de maquina | 5000.00 | 1.00 | 5000.00 |
| 18 | Actuador AND-50-100-A-P-A | 120.00 | 1.00 | 120.00 |
| 19 | Válvula estrangulación | 20.00 | 2.00 | 40.00 |
| 20 | Tubo sintético PUN-8x1,25-BL | 2.00 | 10.00 | 20.00 |
| 21 | Electroválvula CPE14-M1BH | 85.00 | 1.00 | 85.00 |
| 22 | Racor Rápido Qs-1/8 | 20.00 | 15.00 | 300.00 |
| 23 | Sensor inductivo FESTO | 25.00 | 2.00 | 50.00 |
| 24 | Sensor inductivo SIEMENS | 25.00 | 2.00 | 50.00 |
| 25 | Silenciadores | 20.00 | 1.00 | 20.00 |
| 26 | Módulo de comunicación | 783.00 | 1.00 | 783.00 |
| 27 | OTROS | 2000.00 | 1.00 | 2000.00 |
| | | | | |
| | | | Subtotal | 35362.10 |
| | | | IVA (12%) | 4243.45 |
| | | | TOTAL | 39605.55 |

Tabla 6.1 Presupuesto utilizado²²⁶

La empresa decide invertir en la adquisición de este prototipo cuyo costo final es tomado de la tabla 6.1, con capital propio de la empresa, sin financiamiento externo; constituyéndose en el activo fijo destinado para realizar las actividades de conteo, y separación de varillas.

6.3 ANALISIS DE COSTOS, GASTOS UTILIZADOS

El costo hace referencia al conjunto de erogaciones en que se incurre para producir un bien o servicio, como es la materia prima, insumos y mano de obra. El

²²⁶ Fuente propia

gasto, en cambio, es el conjunto de erogaciones destinadas a la distribución o venta del producto, y a la administración.²²⁷

6.3.1 DETERMINACION DEL PRECIO DE VENTA

Es el valor en dólares que el producto va a generar, en este caso, la implementación del prototipo contador y separador de varillas.

Para el cálculo de este valor se harán varias iteraciones y análisis con los datos obtenidos hasta el momento de la producción de ANDEC, representando sus datos en la Tabla 6.2.

| DATOS DE PRODUCCIÓN | | | | |
|-------------------------------------|------------------------|----------------------|-----------------------|-----------------|
| DATOS | DIA 14 [mm] | DIA 8[mm] | DIA 25[mm] | PROMEDIO |
| Hora 1ra imagen [hora] | 15.20 | 16.24 | 8.10 | |
| Hora Ultima imagen[hora] | 14.24 | 4.00 | 16.00 | |
| Total mantos | 1410.00 | 558.00 | 526.00 | |
| Tiempo transcurrido [h] | 23.04 | 11.76 | 7.90 | |
| Mantos/hora | 61.20 | 47.45 | 66.58 | 58.41 |
| Mantos/día | 1468.75 | 1138.78 | 1597.97 | 1401.83 |
| peso[Kg]/manto | 6.30 | 7.04 | 4.55 | 5.96 |
| peso[Kg]/día | 9247.69 | 8019.55 | 7263.52 | 8176.92 |

Tabla 6.2 Datos obtenidos de producción²²⁸

Como nos indica en la Tabla 6.2, el peso de acero promedio diario fabricado actualmente es de 8176.92 [Kg].

²²⁷ GERENCIE, Diferencia entre costo y gasto, 2013 <http://www.gerencie.com/diferencia-entre-costo-y-gasto.html> [Consulta: viernes, 16 de mayo de 2013]

²²⁸ Fuente propia

6.3.1.1. Cálculo teórico del tiempo de proceso obtenido por el sistema prototipo separador y contador de varillas.

La Tabla 6.3 demuestra el cálculo del tiempo de conteo y separación teórico obtenido por el sistema.

| | |
|---|-------|
| Recorrido Max del separador [mm] | 1100 |
| Velocidad nominal Servo Motor [RPM] | 2000 |
| Paso Nominal Tornillo sin Fin [mm/rev] | 5 |
| Velocidad Lineal del conjunto mm/min | 10000 |
| Tiempo Max de llegada separador [seg] | 6.6 |
| Tiempo de separación por tablerista [seg]* | 7 |
| Total de actuación [seg] | 13.6 |
| Factor de seguridad | 1.5 |
| Tiempo Total de Conteo y Separación [seg] | 20.4 |

*Dato estimado obtenido por tablerista²²⁹

Tabla 6.3 Tiempo Teórico de Conteo y Separación²³⁰

6.3.1.2 Cálculo de producción de acero teórico

Con los datos de la Tabla 6.3, se obtiene la Tabla 6.4, la cual indica el peso aproximado de producción en base al tiempo total de proceso teórico que el sistema separador y contador de varillas puede alcanzar.

Se debe tomar en cuenta que el conteo se lo realiza por mantos, por lo cual, el tiempo de proceso es en base a mantos procesados, es decir, contados y separados.

²²⁹ Persona encargada del manejo de los tableros de la mesa de cadenas, cizalla y atado dentro del proceso de laminación.

²³⁰ Fuente Propia

| | |
|----------------------|----------|
| Mantos/min | 2.94 |
| Mantos/hora | 176.47 |
| Mantos/día | 4235.29 |
| peso [Kg]/día | 25248.01 |

Incremento Teórico de producción 273%

Tabla 6.4 Producción teórica sistema.²³¹

Comparando las tablas 6.4 y 6.2 se demuestra un incremento teórico de producción en un 273%.

Dado que el sistema contador y separador prototipo, por la característica mecánica de fabricación y construcción de la bancada provisional desarrollada para el proyecto, este solo puede estar en funcionamiento, 9 horas diarias, se obtiene la tabla 6.5 la cual indica la producción real que puede alcanzar el sistema prototipo actual y el aumento de producción en Kilogramos que puede alcanzar el sistema desarrollado.

| | |
|--------------------------------------|---------|
| Horas de Funcionamiento | 9.00 |
| Mantos/día | 1588.24 |
| Aumento de mantos x día | 186.40 |
| Aumento de [Kg]/día | 1111.20 |
| Aumento de [Ton]/ano | 400.03 |
| Incremento real de producción | 113% |

Tabla 6.5 Producción Real Sistema.²³²

En base a los datos económicos proporcionados por la empresa se obtiene que el aumento de producción de 400 Ton anuales, representa un valor económico de 495000 dólares anuales, representados en la Tabla 6.6, siendo este el precio de venta que se usara en el proceso del análisis económico del proyecto.

| | |
|-----------------------------|-----------|
| Aumento de [Ton]/año | 400.03 |
| Precio de venta [\$] | 495000.00 |

Tabla 6.6 Precio de Venta Proyecto.²³³

²³¹ Fuente Propia

²³² Fuente propia

6.3.2 ESTADO DE FLUJO

Para la proyección del estado de resultados se utilizó la información de crecimiento y disminución de sus movimientos históricos económicos reflejados en los ejercicios fiscales 2012 y 2011 de la empresa.

Se tomará a consideración la depreciación de la maquinaria propuesta en este tema de investigación y la mano de obra que se necesitará para su operación.

Datos demostrados en la Tabla 6.7

| | Valor inicial | Depreciación | Año 1 | Año 2 | Año 3 | Año 4 | Año 5 | Valor de recuperación |
|------------|---------------|--------------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------------------|
| MAQUINARIA | 40,000.00 | 0.10 | 4,000.00 | 4,000.00 | 4,000.00 | 4,000.00 | 4,000.00 | 20,000.00 |

| Número | Remuneración | Aporte Patronal | Dmo Tercer | Dmo Cuarto | Valor mensual | Valor anual |
|-----------|--------------|-----------------|------------|------------|---------------|-------------|
| 6 Obreros | 800 | 89.2 | 66.67 | 26 | 5891.2 | 70694.4 |

Tabla 6.7 Depreciación maquinaria y detalle mano de obra ²³⁴

La tabla 6.8 demuestra el estado de resultados proyectados para la empresa ANDEC S.A. con un horizonte de 5 años.

|  | Año 1 | Año 2 | Año 3 | Año 4 | Año 5 |
|---|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| INGRESOS OPERACIONALES | | | | | |
| Ventas | 495,000.00 | 519,750.00 | 561,330.00 | 606,236.40 | 654,735.31 |
| (-) Costos de ventas | 391,050.00 | 410,602.50 | 443,450.70 | 478,926.76 | 517,240.90 |
| (=) UTILIDAD BRUTA EN VENTAS | 103,950.00 | 109,147.50 | 117,879.30 | 127,309.64 | 137,494.42 |
| Gastos operacionales | | | | | |
| (-) Gastos de Administración | 70,694.40 | 74,229.12 | 77,940.58 | 81,837.60 | 85,929.49 |
| (-) Gastos de ventas | 5,000.00 | 5,250.00 | 5,512.50 | 5,788.13 | 6,077.53 |
| UTILIDAD OPERACIÓN | 28,255.60 | 29,668.38 | 34,426.22 | 39,683.91 | 45,487.40 |
| (-) Gastos financieros | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |

²³³ Fuente propia

²³⁴ Fuente propia

| | | | | | |
|---|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| (-) Depreciación y amortizaciones | 4,000.00 | 4,000.00 | 4,000.00 | 4,000.00 | 4,000.00 |
| (=) UTILIDAD DE OPERACIÓN ANTES DE IMPUESTOS | 24,255.60 | 25,668.38 | 30,426.22 | 35,683.91 | 41,487.40 |

Tabla 6.8 Estado de resultados proyectados.²³⁵

CONNOTACION GERENCIAL

1. Se considera un incremento del costo de venta para los siguientes años del 5%
2. Para los gastos administrativos se toma en cuenta la remuneración y beneficios de ley de los 6 obreros.
3. Se estableció que para el primer año los gastos de venta consolidados en un rubro constituyen la publicidad y propaganda, material Below the Line (BTL) y el material Point Of Purchase (POP) que se dispondrán en actividades de relaciones públicas y que cada año irá incrementándose en el 5%.
4. Para la depreciación se utilizara el método de línea recta que para nuestra maquinaria es del 10% a 10 años.

6.3.3 FLUJO DE CAJA

Según las Normas Internacionales de Contabilidad NIC No 7 se le considera al estado de flujo de caja a aquel que determina la entrada y salida de recursos en un momento determinado, indicados en la tabla 6.9.

6.3.4 ESTADO DE FLUJO

“Proceso mediante el cual los recursos inicialmente disponibles en forma líquido retornan ese mismo estado después de sufrir una serie de transformaciones (inversión

²³⁵ Fuente propia

en capital permanente, adquisición y conversión de insumos en bienes terminados, comercialización de contado o a crédito de los mismos y recuperación de cartera)”²³⁶

El estado de Flujo para la empresa ANDEC tiene como apoyo la información proporcionada por el Departamento Financiero que por temas de confidencialidad de los datos se manejarán cifras en números enteros.

Posteriormente de esta evaluación se analizará el valor actual neto y la tasa interna de retorno del prototipo.

|  ANDEC | Año 0 | Año 1 | Año 2 | Año 3 | Año 4 | Año 5 |
|---|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Inversión inicial | 40,000 | | | | | |
| Utilidad neta | | 24,255.60 | 25,668.38 | 30,426.22 | 35,683.91 | 41,487.40 |
| Depreciaciones y amortizaciones | | 4,000.00 | 4,000.00 | 4,000.00 | 4,000.00 | 4,000.00 |
| Recuperación de capital de trabajo | | | | | | |
| Valor de rescate | | | | | | 20000.00 |
| Flujo de caja | -40,000 | 28,255.60 | 29,668.38 | 34,426.22 | 39,683.91 | 65,487.40 |

Tabla 6.9 Flujo de Caja ²³⁷

6.4 VALOR ACTUAL NETO (VAN)

Esta variable permite determinar si la inversión cumple con el objetivo básico financiero que es la de maximizar la inversión.

Es necesario realizar el cálculo de la tasa de oportunidad (WACC) para lo cual se usara la fórmula 6.1.

²³⁶ BURBANO, Jorge Presupuestos segunda edición Mac Graw Hill Bogotá Colombia 2003

²³⁷ Fuente propia

| Cálculo de la tasa de oportunidad | |
|-----------------------------------|--|
| WACC | = K_e (% capital propio) + K_d (1 - T) (% deuda) |
| K_e = | 13.5% Tasa de mercado o costo de oportunidad |
| K_d = | 8.2% Tasa de interés bancario |
| % Cap. Prop | 100% |
| % deuda = | 0% |
| T = | 36.25% Tasa impositiva en el Ecuador |
| WACC | = 13,5% (1) + 8.2% (1 - 36,25%) (0%) |
| WACC | 13.50% |

Fórmula 6.1 Determinación de la tasa de oportunidad.²³⁸

Obtenemos una tasa de oportunidad, que servirá para el valor actual neto (VAN) y la tasa interna de retorno TIR, representada en la tabla 6.10.

| | |
|------------------------------|-------|
| Tasa de oportunidad = | 0.135 |
|------------------------------|-------|

| Año | Flujo | Flujo descontado |
|-----|--------|------------------|
| 0 | -40000 | -40000 |
| 1 | 28256 | 24895 |
| 2 | 29668 | 23030 |
| 3 | 34426 | 23545 |
| 4 | 39684 | 23913 |
| 5 | 65487 | 65487 |

| | |
|-----|--------|
| VAN | 120871 |
|-----|--------|

| | |
|------------|---------------|
| VAN | \$ 120,870.64 |
|------------|---------------|

| | |
|------------|--------|
| TIR | 75.92% |
|------------|--------|

Tabla 6.10 VAN y TIR²³⁹

²³⁸ ECONOMÁTICA, Flujo de caja descontado, 2013
http://www.economática.com/support/manual/espanhol/DCF/Introducci_n.htm [Consulta: viernes, 16 de mayo de 2013]

²³⁹ Fuente propia

6.5 TASA INTERNA DE RETORNO (TIR)

Esta variable es la encargada de medir la eficiencia de la inversión, a continuación, en la tabla 6.11, se detallan las consideraciones para verificar su eficiencia, además de la determinación del TMAR.

| CRITERIOS DE DECISION TOMANDO EN CUENTA LA TIR | |
|--|---------------------------------------|
| TIR > TMAR | PROYECTO ATRACTIVO |
| TIR = TMAR | PROYECTO INDIFERENTE |
| TIR < TMAR | PROYECTO INCONVENIENTE |
| TMAR | TASA MINIMA ACEPTABLE DEL RENDIMIENTO |
| CRITERIOS DE DECISION TOMANDO EN CUENTA LA TIR (CONTINUACIÓN) | |
| Tasa pasiva* | 4.53% |
| Prima riesgo sector* | 6.00% |
| Tasa inflación * | 3.03% |
| TMAR | 13.56% |

*A mayo

2013

75.92 % > 13.56 % la implementación del proyecto es atractiva.

Tabla 6.11 Determinación Eficiencia del TIR²⁴⁰

Como conclusión de la tabla 6.11, se obtiene que la implementación del proyecto es viable y atractiva económicamente para la empresa ANDEC S.A.

²⁴⁰ Fuente Ministerio de Finanzas, Banco Central del Ecuador, Elaborado por autores

6.6 RELACIÓN BENEFICIO COSTO

La relación beneficio costo muestra el resultado de los ingresos y gastos del proyecto, para este caso por cada dólar invertido en el prototipo la empresa ANDEC del Ecuador recibirá \$3.02 , demostrado en la fórmula 6.2

$$\text{Razón B/C} = \frac{\text{VAN}}{\text{INVERSION}}$$

$$\frac{120,870.64}{40,000.00} = 3.02$$

\$

Fórmula 6.2 Razón B/C ²⁴¹

En base a los indicadores financieros expuestos, se considera que el proyecto “Diseño e implementación de un sistema prototipo automático para el conteo y separación de varillas para la empresa ANDEC S.A” es viable y atractivo económicamente para la empresa ANDEC S.A.

²⁴¹ DURÁN VARGAS, Emerson Leonardo. Presupuesto bajo incertidumbre. p 309-326 (2011).

CAPÍTULO VII

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

En este capítulo se concluirá el trabajo realizado en base al alcance obtenido en el desarrollo del proyecto en cuanto a la implementación del sistema contador y separador de varillas en las instalaciones de ANDEC.

7.1 CONCLUSIONES

- Durante el desarrollo de este proyecto, se pusieron en práctica y se reforzaron los conocimientos adquiridos en la carrera de Ingeniería Mecatrónica.
- Se usó en su totalidad, el material y equipos disponibles en la empresa para elaboración e implementación del proyecto “Diseño e implementación de un sistema automático prototipo para el conteo y separación de varillas para la empresa ANDEC S.A.” optimizando los recursos económicos disponibles para este proyecto.
- El tema de logística en la empresa, produce demoras en el desarrollo del proyecto, motivo por el cual no se pudo concluir en el tiempo propuesto.
- La iluminación infrarroja con un ancho de banda de 850 nm, filtro IR a 850nm y técnica de iluminación, usados en el desarrollo del proyecto, cumplen las expectativas de acondicionamiento de imagen descritas en las tabla 3.15 y tabla 3.26, es decir nos proporciona una imagen con una misma escala de grises, en un rango de [0-50] para el blanco y [50 -255] para el negro, un histograma constante durante todo el día, ya sea este soleado, nublado, noche o madrugada, lo cual es favorable en aplicaciones de visión artificial que se encuentran a la

intemperie donde no se puede controlar la cantidad de luz solar incidente en el objeto a estudiar, en este caso, varillas corrugadas.

- El sistema automático contador y separador de varillas tiene un error promedio de conteo del 3,67%. debido a la resolución de la cámara usada, siendo esta de 640x480 pixeles, con lo cual nos lleva a el tamaño de cada pixel es de 1,41 [mm], esta medida, no cumple con el tamaño de características más pequeña que se colocó como requisito (tabla 3.17), es decir 1,41 [mm] es mayor que 0,50 [mm], que es la consideración de espacio más pequeño entre cada una de las varillas cuando estas se encuentran juntas una con otra.
- El error en el conteo disminuye conforme aumenta el diámetro de las varillas que se requiera contar siendo una estimación, aplicando la fórmula 5.2, de un error del 4.35% para varillas de diámetro 12 mm.
- El método de conteo de varillas corrugadas por medio de visión artificial, se considera un método no determinístico, es decir no se puede dar una determinada característica, formula o método para obtener una exactitud cercana al 0% de error en el conteo, debido a la variabilidad de la sección transversal de las varillas, intrínseca del proceso de fabricación de varillas corrugadas, ver figura 3.43.
- Para el diseño mecánico del separador se tuvo en cuenta trabajar con factores de seguridad altos (4 – 5), debido al ambiente de trabajo y asegurar las protecciones necesarias del sistema al ser integrado al arduo proceso de producción de varillas corrugadas de la empresa.
- El sistema separador de varillas se basó en el diseño de un sistema de posicionamiento lineal en base a un tornillo de potencia, cuya bancada se debe manufacturar por medio de fundición para obtener una mayor precisión en la

alineación entre el tornillo de potencia y el servo motor, mediante una CNC a partir de un bloque, las cuales ofrecen una precisión de 0,5 – 1 micra de milímetros, además de ofrecer la superficies de deslizamiento necesarias en un sistema de posicionamiento lineal, en las cuales reduce la fricción entre los elementos, coeficiente de fricción en movimiento de acero – bronce (lubricado) es de 0,06.

- Tomando en cuenta los equipos y materiales que se encuentran en la empresa se realizó el diseño y construcción de una bancada, la cual se lo ejecutó con ayuda del departamento de maestranza, y la misma que se basa en un sistema de rieles y mordazas para el deslizamiento del separador entre el manto de varillas, de la cual se obtiene una precisión de manufactura de 1 - 3 mm, logrando implementar un sistema que resista el ambiente y condiciones de trabajo, sin embargo existen algunos inconvenientes que se prevén en este diseño los cuales son, el desgaste de material entre las mordazas y las rieles por ser un mismo material, coeficiente de fricción en movimiento de acero – acero (lubricado) es de 0,08; aumento en la tolerancia de precisión de alineación, aunque se haya tomado todas las precauciones para reducir esta tolerancia, se es imposible debido a que es un ensamblaje de varias partes, las cuales con el uso constante del sistema separador se va obtener una desalineación de las partes a través de todo el sistema acortando la vida útil de la bancada y del tornillo.
- Se realizó el diseño de un sistema separador que sea independiente del proceso de elaboración de varillas, y adaptado al espacio e infraestructura existente en el área de la cama de cadenas, para evitar afectar directamente el proceso de producción, minimizando el riesgo de parar el proceso de fabricación en caso de fallas en la implementación del sistema de separación diseñado.

- En cuanto a la implementación, se concluye que es complicada la coordinación de trabajos y por ende la implementación de un sistema en desarrollo como es el caso de este proyecto, en una empresa como ANDEC, cuya producción es continua y muy difícilmente se detiene, además de que se debe pasar por un proceso de adaptación de todos los operadores al funcionamiento del sistema contador y separador desarrollado, para evitar fallas en el sistema por mala operación.
- En cuanto a la implementación, se obtuvieron los datos en sitio siguiendo un protocolo de pruebas en vacío, de la cual los resultados se pudo observar que el sistema separador se acopla a la infraestructura de la cama de cadenas y espacio disponible, y responde de buena manera a las velocidades propuestas para el sistema.
- Las pruebas con cargas no pudieron ser concluidas tal como se detalla en la sección 5.6.2, donde los primeros datos obtenidos cumplen con los parámetros de funcionamiento requeridos, descritos en la tabla 5.17.
- En base al TIR de 75,92% y VAN de \$ 120 870 calculados en el capítulo 6, se considera al proyecto viable económicamente para la empresa ANDEC S.A, recuperando la inversión dentro del segundo año de funcionamiento del sistema diseñado.

7.2 RECOMENDACIONES.

- Se recomienda investigar sobre los tipos y usos de equipos industriales, disponibles comercialmente en el mercado ecuatoriano.
- Si fuera el caso de un nuevo desarrollo de sistema de conteo y separación de varillas, se recomienda realizar un nuevo presupuesto económico para el proyecto y adquirir equipos actualizados.

- Se recomienda tomar en cuenta, los tiempos de adquisición de equipos por parte de la empresa para realizar un cronograma conservador al momento de la ejecución de un nuevo proyecto.
- Es recomendable investigar y probar nuevas técnicas de iluminación, mejorando la técnica usada en el desarrollo de este proyecto.
- Se recomienda usar una cámara de mayor resolución superior a 3600x720 pixeles, con las mismas características de robustez, conectividad y compatibilidad con el software Labview de National Instruments de la Smart cámara NI 1722.
- Se recomienda usar el sistema de conteo y separación de varillas durante el proceso de fabricación de varillas corrugadas mayores o iguales a 12 mm de diámetro, ya que desde esta medida, el error en el conteo es menor al 5%.
- Si fuera el caso del desarrollo de un nuevo sistema de conteo, se recomienda unir dos tipos de método de conteo, es decir visión artificial conjuntamente con un sistema de detección por pulsos, o cualquier otro método, para disminuir el error intrínseco del método de conteo de varillas corrugadas por visión artificial debido a la variabilidad del perfil transversal del corte de las varillas.
- Se recomienda mejorar la preparación del manto de varillas, mandando menos varillas en cada manto y evitar la sobre posición de varillas una sobre otra.
- Para garantizar el buen funcionamiento del Sistema Separador es recomendable desarrollar e implementar un programa de mantenimiento preventivo y predictivo para evitar el deterioro prematuro de los elementos mecánicos y electrónicos del sistema.

- Se recomienda tener contacto directo y permanente con el departamento de laminación para coordinar de mejor manera los trabajos de implementación y pruebas del sistema.

BIBLIOGRAFÍA

- Budynas, R. G., & Nisbett, K. J. (2002). *Diseño de Ingeniería Mecánica*. McGraw-Hill.
- GSK. (2010). *SJT series AC servo Motor*. Anónimo.
- Hall, A. S., & Holowenco, A. R. (2003). *Diseño Máquinas*. Schaum.
- Jimenez, C., & Manzano, R. (2012). *Diseño e implementación de un sistema modular y reconfigurable para el control de calidad de Zippers*. (Tesis de ingeniería mecatrónica. ESPE).
- Prieto, R. (2005). *Sistema de control de tiempo real basado en reconocimiento de imágenes*. (Tesis de ingeniero de telecomunicación). Universidad de Cádiz.
- Marín García, J. M. (2001). *Apuntes de Diseño de Máquinas*. ECU.
- Mott, R. L. (2006). *Diseño de Elementos de Máquinas*. PEARSON Educación.
- NIASA. (2010). *Husillos de Bolas*. NIASA.
- Norton, R. L. (1999). *Diseño de Máquinas*. Pearson.
- Parker. (2012). *Catálogo 0700P-E: Producto de preparación de aire industrial*. Anónimo.
- Ramos, J. C. (2003). *Parámetros de Motores PAP*. IESLeonardo.
- Society of Automotive Engineers. (2012). *Metals Handbook*. SAE Handbook.

SURE-STEP. (2011). *Sistemas de motores paso a paso*. Automation Direct.

UGRA CNC. (2012). *Catálogo Ball Screw BK-2005*. Part Components.

Cruz, J.E. (2006). *Módulo de ni-vision de labview*. Universidad distrital francisco jose de caldas.

National instruments. (2008). *Ni visión ni 17xx Smart cámara user manual*.

National instruments. (2012). *Labview machine visión and imagen processing*.
Nationl instruments.

National instruments. (2011). *Labview core 1*. Nationl instruments.

National instruments. (2011). *Labview core 2*. Nationl instruments.

Serrano, J. F., Moreno, A.B., Sánchez, A. & Sánchez, L.E. (2003). *Visión Artificial*.

SITIOS WEB

Wikipedia. (2013, marzo). *Coefficiente de seguridad*. Recuperado de Ingeniería: <http://es.wikipedia.org/>

XINJE Electronics. (2012, septiembre). *PLC (Xinje-FC)*. Recuperado de Equipment: <http://www.asia.ru/>

Reyes, D. (2011, junio). *Motores de corriente continua*. Recuperado de sec.tec.62.3a: <http://sectec623a-david.blogspot.com/>

Milwaukee . (2008, marzo). *Cilindros Hidráulicos “Milwaukee Cylinder”*. Recuperado de <http://mimolly.blogia.com/>

EDRIVE. (2012, enero). *Actuador eléctrico lineal de husillo de bolas para cargas pesadas*. Recuperado de <http://www.edriveactuators.com/>

FESTO. (2012, diciembre). *Cilindro compacto ADN*. Recuperado de Actuadores Neumáticos: <http://www.festo.com/>

GmbH, T.-P. (2007). *ISO-cilindro con barra de tracción*. Recuperado de Accesorios Neumáticos: <http://neumatica-es.timmer-pneumatik.de/>

Anónimo. (2012, Noviembre). *Mantenimiento de Motores Paso a Paso*. Recuperado de <http://solomantenimiento.blogspot.com/>

Anónimo. (2012, mayo). *Bar Counter type BCA*. Recuperado de <http://www.subkorea.com/steel/sk/sb/prod/barcount.html>

- Anónimo. (2012, mayo). *Bar Counter type BCA*. Recuperado de http://www.sundbirsta.com/default.asp?id=bar_mill
- Anónimo. (2012). *Automatic Steel bar counting system base don machine visión*. Recuperado de <http://www.engpapers.com/7890.html>
- Anónimo. (2012). *The research and development of the bar counting based on image processing*. Recuperado de <http://www.engpapers.com/95755.html>
- Anónimo. (2012). *The research and application of separating Steel bars automatically in roling mills based on machine visión*. Recuperado de <http://www.engpapers.com/10602.html>
- Oficina española de patentes y marcas. (2004). *Dispositivo de separación para barras laminas*. Recuperado de http://www.espatentes.com/pdf/2199511_t3.pdf
- Anónimo. (2013). *Simbolos normalizados UNE-EN 60617*. Recuperado de http://roble.pntic.mec.es/jcat0021/Archivos%20para%20descargar/simbo logia_UNE%2060617.pdf
- National Instruments. (2012). *Smart Camaras for embedded machine visión*. Recuperado de http://www.ni.com/pdf/products/us/cat_ni_1742.pdf
- Xinje Electronic Co., Ltd. (2012). *Xc seriesprogrammable controller user's manual*. Recuperado de <http://www.imenista.com/pdf/XCPLCV2.51.pdf>
- Dirección del trabajo. (2012). *Estrés laboral*. Recuperado de <https://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&ved=0CDMQFjAB&url=http%3A%2F%2Fwww.proyectoaraucari>

a.cl%2Fdocumentos%2F20070904085824Cartilla_estres_laboral.doc&ei
=NLvMUaP4HonC9QTtlICIBw&usg=AFQjCNG02e_6x47z1bOBFNoD
w11qjdcAdg&sig2=FlARJ1Z1NRU46FPWimJubQ&bvm=bv.48572450,
d.eWU

The web foto. (2008). *Curso de fotografía digital* .Recuperado de
<http://www.thewebfoto.com/Thewebfoto-Curso-de-fotografía-digital.pdf>