

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

Rodolfo Sánchez

rgsanchezb@gmail.com  
0987592571

Leonardo Villagómez

leo.villagomez.mejia@gmail.com  
0998865224

## 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, 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.

**Palabras clave:** varilla, HMI, contador, separador, algoritmo, procesamiento, LabView, manto, optimización, error, pixeles.

## Abstract:

This project was developed for the company ANDEC SA based on their need to improve the working conditions of workers and the manual counting process corrugated iron rods present in the company. As the main objective of the project, develop a system of counting and automatic separation rods, with an error less than or equal to 5% in counting rods. There will be a mechanical and electrical design rod spacer system, followed by the design of the machine vision system and control software separator system through the development and implementation of control algorithms and image processing in Labview, displayed on an HMI (Human Machine Interface), which aims to determine the number of rods present in the current mantle, accumulating count value until the number of rods required to form a package. If there is an excess of rods in the mantle, the separator system is activated, ranking last packet forming rod, giving a signal to the operator to activate the string bed, separate and form the required package, after this process the separator system returns to its initial position, and the remaining rods mantle would be added to a new packet, starting a new process of counting and packet shaping rebar.

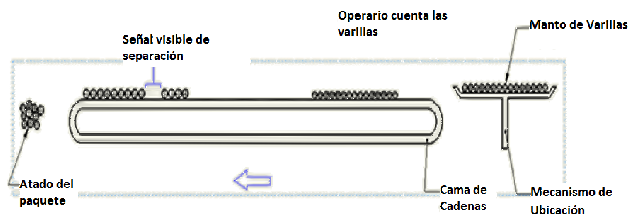
**Keywords:** rod, HMI, accountant, separator, algorithm, processing, LabView, mantle, optimization, error, pixels.

**I. - INTRODUCCIÓN**

La empresa ANDEC S.A., especializada en la fabricación de varillas corrugadas de acero, donde se presentó un problema actual 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.

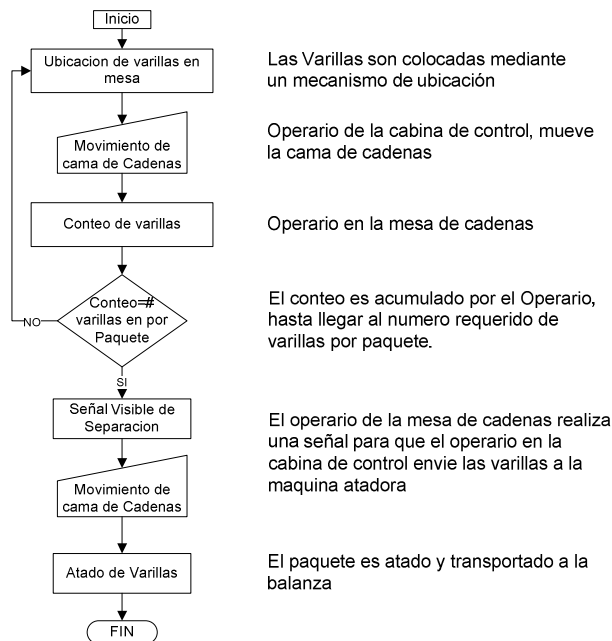
**II.- PROCESO A AUTOMATIZAR**

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



**Figura 1. Esquema del proceso de formación de paquetes de varillas**

La Figura 1. Muestra el proceso actual de la empresa en la operación de armar paquetes de varillas de diferentes diámetros, en el diagrama de flujo (Figura 2) se muestra el algoritmo que siguen los operarios para la formación de paquetes.



**Figura 2. Diagrama de flujo del proceso actual.**

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
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

Tabla 1. Variables de Proceso

### III.- SELECCIÓN DE SISTEMAS DE CONTEO Y SEPARACIÓN

#### • SISTEMA SEPARADOR

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:

#### Tornillo de Potencia:

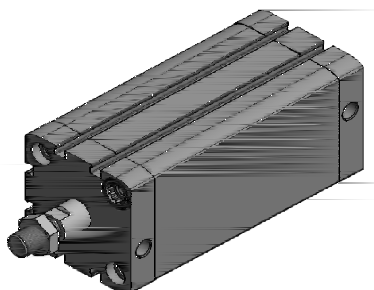
Factor de seguridad	5	Paso	5 mm
Parámetros de diseño		Carga dinámica	11081,51 N
Fuerza Máxima	800 N	HUSILLO	
Largo necesario	>1000 mm	Coef. de Fricción	0,03
Diseño por Carga axial	$\varnothing = 6,35$ mm	Par de Torsión	1,85 Nm
Diseño por Flexión	$\varnothing = 17,02$ mm	TUERCA	
Diseño por Fatiga	$\varnothing = 17,58$ mm	Diseño por Carga Dinámica:	2150,98 N
Selección de Tornillo disponibles		Diseño por duración de vida	
Tipo	2005 - 4	D. vida en vueltas	$2,61 \times 10^8$
Diámetro nominal	20 mm	D. vida en horas	27347,41
Largo de recorrido	1288 mm		



**Figura 3. Tornillo de potencia, tuerca y soportes de la empresa UGRA CNC.**

### Cilindro Neumático:

Parámetros de diseño		SELECCIÓN CILINDRO NEUMÁTICO
Fuerza Máxima	800 N	Código: APA-50-100-A-P-A
Factor Seguridad	4	Presión de trabajo: 1 – 10 bar
Presión trabajo	6 bar	Carrera: 100 mm
Diseño por esfuerzo a flexión mm	$\varnothing_{\text{vast}} > 15,57$	Diámetro del vástago: 16 mm
Diseño del émbolo $\varnothing_{\text{emb}} > 41,2$ mm		Diámetro del émbolo: 50 mm



**Figura 4. Cilindro Neumático ADN-50-100-A-P-A FESTO.**

### Servo Sistema:

Parámetros de diseño		Potencia	383,02 W
Masa del tornillo:	4,98 Kg	SELECCIÓN SERVO-SISTEMA	
T. Carga Axial:	1,85 Nm	Servo-Motor:	
Eficiencia:	0,7	Código: GSK 80SJT-M024C	
Diseño Servo-Motor		Torque Nominal:	2,4 Nm
Torque Real	2,4 Nm	Potencia:	514,85 W

Velocidad Nominal:	2000 RPM	Código:	D098B
Encoder absoluto:	2500 PPR	Precisión:	0,001 mm
Servo-Drive:		Control giro y velocidad:	sí
Marca:	XINJE		



**Figura 5. Servomotor 80SJT-M024C y Servo drive D098B.**

#### **Unidad Lógica Programable (PLC):**

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 7 muestra una imagen del PLC Xinje XC324RT.



**Figura 6. PLC - XINJE XC324RT.**

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-servo drive, 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.

#### **• SISTEMA CONTADOR**

Primero se muestra la metodología de diseño a realizarse para un sistema de conteo mediante visión artificial.

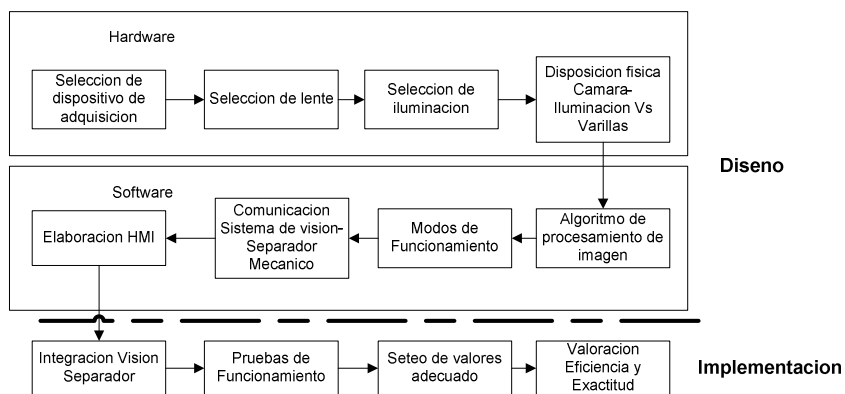


Figura 8. Diagrama de flujo Diseño del sistema de visión artificial

**Dispositivo de adquisición de imagen:**

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.



Figura 9. Cámara NI 1722.

**Iluminación:**

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 2 Y 3 muestran, respectivamente, los datos técnicos de iluminación y filtro usados para el desarrollo del proyecto.

PARÁMETRO	ESPECIFICACIÓN VCN2	ESPECIFICACIÓN RAYMAX 50
Rango de trabajo	>250 m	>75 m
Longitud de onda	850nm	850nm
Alimentación	100-240 Vac, 50/60 Hz	100-230 Vac
Potencia LED	20W	20W
Temperatura de Operación	-20 C a 50 C	-50 C a 50 C
Tiempo de vida	>100.000 horas	>100.000 horas
Tamaño	195x120x95 mm	160x115x54 mm

Tabla 2. Datos técnicos de VCN2 IR 850 y RayMax 50-AI-30.

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

Tabla 3. Datos técnicos del filtro BP850-30.5.

**Software de Visión Artificial:**

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.

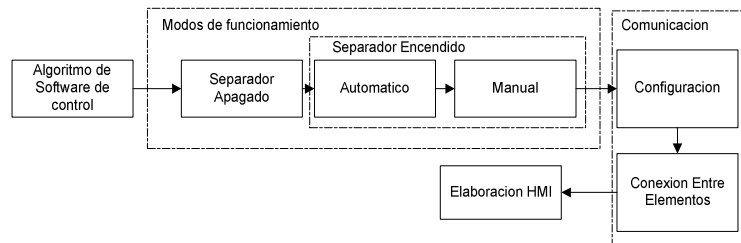


Figura 10. Diagrama de flujo proceso de diseño de Software de Vision Artificial.

**IV.- DISEÑO CONTROLADOR**

La figura 11 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 11.

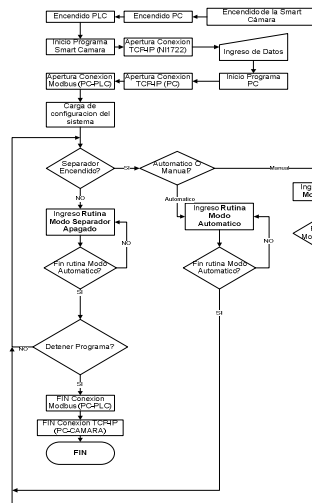
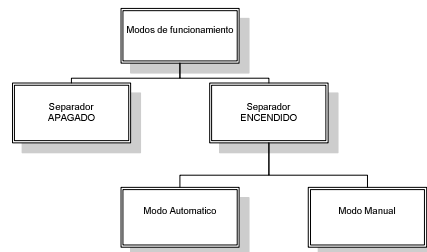


Figura 11. Algoritmo Software de control Labview.

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.



**Figura 12. Modos de funcionamiento.**

#### **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.

#### **Modo automático:**

Para ingresar a este modo de funcionamiento, es necesario presionar el encendido del separador y presionar el botón modo automático.

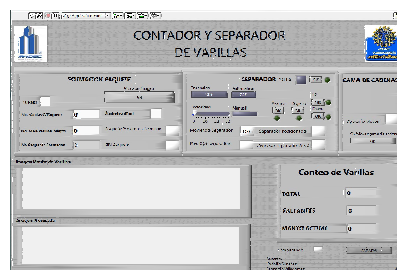
En este modo de funcionamiento, el separador se mueve automáticamente y funciona en conjunto con el contador de varillas por medio de visión artificial.

#### **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.

## **VI.- INTERFASE HOMBRE MÁQUINA (HMI)**

Una vez realizado el software de procesamiento y separación, se ha desarrollado un HMI, Figura 13, para la interacción y la presentación de los datos para el operario.



**Figura 13. HMI Desarrollado**



## VII.- RESULTADOS

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 4, 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.

<b>Diámetro [mm]</b>	<b>14</b>	<b>8</b>	<b>25</b>
<b>Exactitud [%]</b>	97,07	91,97	99,93
<b>Precisión</b>	1,48	4,90	0,52

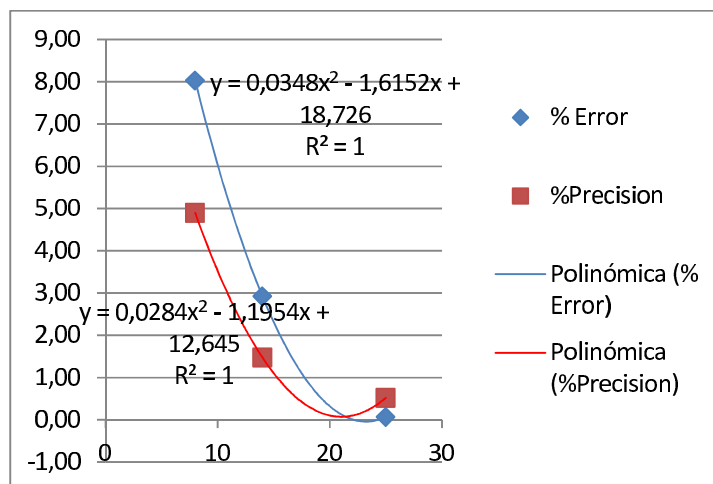
**Tabla 4. Niveles de Exactitud y Precisión**

Dando como resultado final, un error y precisión promedio, expuesto en la Tabla 5, del proyecto: “Diseño e implementación de un sistema Automático prototipo para el conteo y separación de varillas para la empresa ANDEC S.A” de 3.67% y 2.30 respectivamente.

<b>Error Promedio [%]</b>	<b>3,67</b>
<b>Precisión Promedio</b>	<b>2,30</b>

**Tabla 5. Error y Precisión promedio Final**

Con los datos de tabla 4 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 15



**Figura 14. Ecuación de %error y precisión Teórico del sistema Contador de varillas**

## VIII.- CONCLUSIONES

- Durante el desarrollo de este proyecto, se pusieron en práctica y se reforzaron los conocimientos adquiridos en la carrera de Ingeniería Mecatrónica.
- 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.
- 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, esta medida, no cumple con el tamaño de características más pequeña que se colocó como requisito, que es la consideración de espacio más pequeño entre cada una de las varillas cuando estas se encuentran juntas una con otra.
- 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.
- 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.
- Las pruebas con cargas no pudieron ser concluidas, donde los primeros datos obtenidos cumplen con los parámetros de funcionamiento requeridos.

## IX.- RECOMENDACIONES

- 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%.
- 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.

## X.- REFERENCIAS

- GSK. (2010). SJT series AC servo Motor. Anonimo.
- 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 catabria.
- 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.