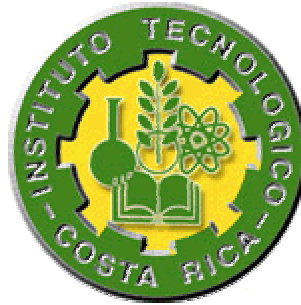


Instituto Tecnológico de Costa Rica

Escuela de Ingeniería en Electrónica



***Implementación de un sistema de conteo de varilla y automatización
del transferidor de mantos***

**Informe de Proyecto de Graduación para optar por el título de Ingeniero en Electrónica
con el grado académico de Licenciatura**

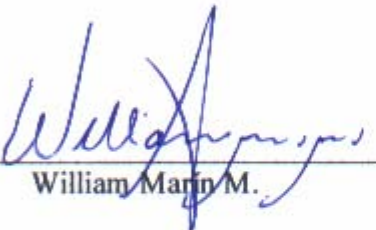
Alvaro Echandi López

Cartago, Julio 2004

INSTITUTO TECNOLOGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE INGENIERIA ELECTRONICA
PROYECTO DE GRADUACIÓN
TRIBUNAL EVALUADOR

Proyecto de Graduación defendido ante el presente Tribunal Evaluador como requisito para optar por el título de Ingeniero en Electrónica con el grado académico de Licenciatura, del Instituto Tecnológico de Costa Rica.


Miembros del Tribunal



William Marín M.
Profesor lector



Eduardo Interiano S.
Profesor lector



Juan Carlos Jiménez R.
Profesor asesor

Los miembros de este Tribunal dan fe de que el presente trabajo de graduación ha sido aprobado y cumple con las normas establecidas por la Escuela de Ingeniería Electrónica

Cartago, 26 de Julio de 2005

Declaro que el presente Proyecto de Graduación ha sido realizado enteramente por mi persona, utilizando y aplicando literatura referente al tema e introduciendo conocimientos propios.

En los casos en que he utilizado bibliografía, he procedido a indicar las fuentes mediante las respectivas citas bibliográficas.

En consecuencia, asumo la responsabilidad total por el trabajo de graduación realizado y por el contenido del correspondiente informe final.

San José, 29 de Julio del 2005



Alvaro Echandi López

Céd: 3-350-472

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a mi familia, amigos y compañeros que estuvieron conmigo y creyeron en mí.

A mi abuela porque sin su apoyo esto no hubiera sido posible y a la familia Jenkins Grispo por su gran ayuda.

AGRADECIMIENTOS

Al señor Gustavo Chavarría por toda su instrucción y colaboración en la elaboración de este proyecto, así como a: Mario, Manfred, Roberto y don Luis por toda su ayuda.

A la señora Flor Arias, mis amigos Paula Cornejo y Omar Vargas por hacer de mi estancia en Guápiles lo mejor posible.

RESUMEN

El siguiente informe presenta la investigación e implementación de un sistema piloto para el conteo de varilla de acero en la planta de Laminadora Costarricense S.A. ubicada en el cantón de Pococí. Esta planta está diseñada de manera que el producto terminado se entrega en paquetes, que en algunos casos alcanzan las 450 unidades por paquete, y está implementada de manera que la característica a controlar sea el peso de dichos paquetes. El departamento de producción y eléctrico de la compañía planteó por tanto la realización de un sistema que permita llevar un control automático de la producción por unidades de varilla. La implementación de dicho sistema se vio dificultada por las condiciones físicas del entorno y el diseño mecánico de la planta.

Para lograr la separación de la varilla se modificó la velocidad de trabajo de algunos motores trifásicos, aunque no se logró la separación deseada, lo que dificultó el poder determinar el paso de cada varilla por medio de un sensor.

Se realizó un análisis de las condiciones físicas y principalmente de los efectos de la varilla caliente (entre 150° y 300° C) sobre el sensor, que ayudó a plantear la solución para garantizar el adecuado funcionamiento de dicho dispositivo.

El control del sistema se implementó por medio del “Sistema Integrado de Control y Regulación de Procesos” (SISTEAM A), fabricado por la empresa española Ingelectric-Team.

El sistema se encuentra en etapa de pruebas y en este informe se presenta un estudio de la disminución del error conforme se fueron implementando y mejorando el diseño tanto de hardware como de software.

Palabras claves: sensores; conteo; Laminadora Costarricense SA; varillas; radiación térmica.

ABSTRACT

The following report presents the research and implementation of a prototype system for counting steel bars, at Laminadora Costarricense S.A. plant, located on Pococí, Limón. This plant is designed for package delivery of finished product that in some cases contains 450 units per package. It is also designed to consider the weight of the package as a control measurement. Both, the Electrical and Production Departments came up with the idea of developing a system that allows them to control the steel bars production automatically. However, it was difficult to build this system, because of the physical surroundings and the mechanical design of the plant.

To achieve the goal of separating the steel bars, it was necessary to modify the operational speed of several tri-phase motors. This was not enough to separate the steel bar as desired, therefore it was difficult to register a steel bar each time it passed through a laser sensor.

Two aspects of the laser sensor were considered: its physical conditions and its behavior under extreme temperatures (between 150°C and 300°C), which helped to find the most adequate solution to the problem.

The control system was developed using the SISTEAM A device, manufactured by Ingelectric-Team Company.

The system is currently being tested. This report includes a study of the reductions of the experimental errors due to the improvement in the hardware and software designs.

Keywords: sensor; to count steel stick; emissivity; temperature.

INDICE GENERAL

DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTOS	v
RESUMEN	vi
ABSTRACT	vii
INDICE GENERAL	viii
INDICE DE FIGURAS	x
INDICE DE TABLAS	xi
Capítulo 1: Introducción	1
1.1 <i>Problema existente e importancia de su solución</i>	<i>1</i>
1.2 <i>Solución seleccionada</i>	<i>3</i>
Capítulo 2: Meta y objetivos	7
2.1 <i>Meta</i>	<i>7</i>
2.2 <i>Objetivo General</i>	<i>7</i>
2.3 <i>Objetivos Específicos</i>	<i>7</i>
a. <i>Objetivos de hardware</i>	<i>7</i>
b. <i>Objetivos de software</i>	<i>8</i>
c. <i>Objetivos de documentación</i>	<i>8</i>
Capítulo 3: Marco teórico	9
3.1 <i>Descripción del proceso a mejorar</i>	<i>9</i>
3.2 <i>Antecedentes bibliográficos</i>	<i>11</i>
3.2.1. <i>Sensores</i>	<i>11</i>
3.2.2. <i>Sistema de automatización</i>	<i>14</i>
3.3 <i>Descripción de los principales principios físicos y electrónicos relacionados con la solución del problema.</i>	<i>16</i>
3.3.1. <i>Termodinámica y la transferencia de calor</i>	<i>16</i>
3.3.2. <i>Modelo eléctrico matemático de los motores trifásicos</i>	<i>18</i>

Capítulo 4: Procedimiento metodológico	21
4.1 Reconocimiento y definición del problema	21
4.2 Obtención y análisis de información.....	22
4.3 Evaluación de las alternativas y síntesis de una solución	25
4.4 Implementación de la solución.....	27
4.5 Reevaluación y rediseño	32
Capítulo 5: Descripción detallada de la solución	33
5.1 Análisis de soluciones y selección final	39
5.2 Descripción del hardware.....	43
5.3 Descripción del software.....	48
Capítulo 6: Análisis de Resultados	53
6.1 Resultados	53
6.2 Análisis.....	65
Capítulo 7: Conclusiones y recomendaciones	69
7.1 Conclusiones	69
7.2 Recomendaciones.....	70
Bibliografía.....	71
Apéndices y anexos.....	73
A.1 Glosario, abreviaturas y simbología	73
A.2 Manual del usuario.....	76
A.3 Información sobre la empresa	89
A.3.1 Descripción de la empresa	89
A.3.2 Descripción del departamento.....	91
Anexo B.1 Modificaciones a diagramas de ingeniería Laminadora Costarricense S.A.	92
Anexo B.2 Hojas de datos	101

INDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.</i> Paso de la varilla por el transferidor de mantos. _____	2
<i>Figura 2.</i> Forma en la que se pretende que pasen las varillas por el transferidor de mantos. _____	4
<i>Figura 3.</i> Diagrama de bloques de la solución seleccionada. _____	6
<i>Figura 4.</i> Diagrama de bloques del proceso de fabricación de varilla. _____	9
<i>Figura 5.</i> Modo de detección haz transmitido. _____	13
<i>Figura 6.</i> Modo de detección reflectivo. _____	13
<i>Figura 7.</i> Modo de detección difuso. _____	13
<i>Figura 8.</i> Diagrama simplificado de los sistemas de automatización. _____	15
<i>Figura 9.</i> Circuito equivalente del estator para motor trifásico de inducción. _____	19
<i>Figura 10.</i> Circuito equivalente del motor trifásico de inducción. _____	20
<i>Figura 11.</i> Detección de varillas individuales con sensor fotoeléctrico reflectivo difuso. _____	29
<i>Figura 12.</i> Gráfica de la salida del sensor tomada con osciloscopio. _____	30
<i>Figura 13.</i> Arreglo geométrico supuesto para el análisis de la transferencia de calor. _____	34
<i>Figura 14.</i> Relación de coordenadas cilíndricas a rectangulares. _____	35
<i>Figura 15.</i> Circuito esquemático de posible solución planteada con un microcontrolador PIC. _____	42
<i>Figura 16.</i> Conector del bus TMX y colocación del módulo en el soporte. _____	44
<i>Figura 17.</i> Diagrama de bloques del módulo BH2101. _____	45
<i>Figura 18.</i> Indicación de las terminales de conexión del sensor WT24-2B440. _____	47
<i>Figura 19.</i> Orden de ejecución de rutinas de la tarea. _____	49
<i>Figura 20.</i> Diagrama de flujo de la rutina para el conteo de la varilla en el transferidor de mantos. _____	50
<i>Figura 21.</i> Diagrama de flujo de subrutina que determina la suma de varilla dependiendo del ancho de pulso de la señal. _____	51
<i>Figura 22.</i> Gráfica de la señal de salida del sensor WT24-2B440, para varilla #, tomada el 13 de abril. ____	54
<i>Figura 23.</i> Gráfica de la señal de salida del sensor WT24-2B440, para varilla #3, tomadas el 3 de mayo. ____	54
<i>Figura 24.</i> Gráfica de la mínima diferencia registrada entre 2 pulsos del sensor. _____	55
<i>Figura 25.</i> Gráfica del máximo pulsos registrado a la salida del sensor el 3 de mayo. _____	55
<i>Figura 26.</i> Gráfica de la salida del sensor al paso de una sola varilla. _____	56
<i>Figura 27.</i> Gráfica de la salida del sensor para 75 varillas. Tomada el 14 de junio. _____	62
<i>Figura 28.</i> Gráfica de la salida del sensor donde se muestran pulsos de distintos anchos. _____	62
<i>Figura 29.</i> Promedio de la diferencia entre el número real y las mediciones realizadas. _____	63
<i>Figura 30.</i> Error en cada medición. _____	63

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características de la varilla por longitud, peso, diámetro y cantidad por rollo. _____	10
Tabla 2. Resumen de las mediciones de temperatura en el trasferido de mantos. _____	23
Tabla 3. Valores de placa del motor 1LA7-107-4AA. _____	23
Tabla 4. Valores de placa del motor 1LA7-133-4AA. _____	23
Tabla 5. Mediciones de las características eléctricas de los motores. _____	24
Tabla 6. Datos del fabricante del variador de velocidad ATV31HD11N4. _____	27
Tabla 7. Pruebas para distancia de detección de varilla según ganancia para el sensor WT24-2B440. _____	29
Tabla 8. Relación de velocidad y frecuencia para el motor 1LA7133-1AA61. _____	53
Tabla 9. Resultado de pruebas para varilla # 3, realizadas el 12/05/2005, ajuste de ganancia del sensor en .23. _____	57
Tabla 10. Resultado de pruebas para varilla # 3, realizadas el 17/05/2005, ajuste de ganancia del sensor en .18. _____	57
Tabla 11. Resultado de pruebas para varilla # 3, realizadas el 17/05/2005, ajuste de ganancia del sensor en .15. _____	58
Tabla 12. Resultado de pruebas para varilla # 3, realizadas el 02/06/2005. _____	59
Tabla 13. Resultado de pruebas para varilla # 3, realizadas el 13/06/2005. _____	60
Tabla 14. Resultado de pruebas para varilla # 3, realizadas el 14/06/2005. _____	61

Capítulo 1: Introducción

1.1 Problema existente e importancia de su solución

Laminadora Costarricense S.A. fabrica en su planta varillas de 9 diámetros distintos. Debido al sistema de fabricación las varillas se agrupan en mantos, el número de varillas por mantos está definido de antemano y dependerá del grosor de varillas, por ejemplo: la varilla de diámetro más delgado es de 3/8 pulgada se agrupa en mantos de 75 unidades y la del diámetro más grueso es de 1 y 3/8 pulgadas se agrupa en mantos de 10 unidades. A su vez el amarre de la varilla se realiza agrupando los mantos. Por esto la varilla de 3/8 pulgada se agrupa en 6 mantos por paquete, para un total de 450 varillas y la varilla de 1 3/8 pulgadas se agrupa en 2 mantos por paquete, por lo que en cada paquete se amarran 20 varillas. La mayor parte del tiempo se usan estos estándares aunque estos montos pueden variar dependiendo del largo de la varilla y en ocasiones se agrupan de otra manera debido a pedidos especiales.

En la actualidad el conteo de la varilla se realiza en forma manual antes de que ingrese a las atadoras para amarrar los rollos o grupos. Posterior al atado los rollos de varilla son llevados por un camino de rodillos a otro sector de la planta (el transferidor de paquetes) donde se realiza un pesaje de los paquetes en la balanza. Es en esta sección donde se podría detectar un eventual error en el número de varillas en cada rollo, aunque debido al número de varillas por grupo y al proceso mismo de laminación (donde las varillas pueden presentar leves diferencias que afectarían su peso unitario) el sistema de pesaje no resulta ser de alta precisión, pero permite marcar los paquetes cuyo peso difiere mucho del esperado, para que esté sea revisado nuevamente de forma visual y determinar si poseen el número adecuado de varillas. Si se presentara dicho error se requiere que el paquete de varillas se desate manualmente y se procede a realizar las correcciones necesarias, agregando o quitando las varillas requeridas para completar cada rollo.

Esta forma de realizar la labor de conteo se da principalmente por la forma en que la varillas pasan del camino de rodillos de la salida de la cizalla 4 hacia las atadoras (ver figura 4). Hoy en día las varillas salen en grupos o mantos del camino de rodillos y estos grupos son

pasados hacia el transferidor de mantos (ver figura 1) que conduce estos grupos a las atadoras. Es en esta sección donde un operario realiza el conteo final del número de varillas que formarán cada manto.

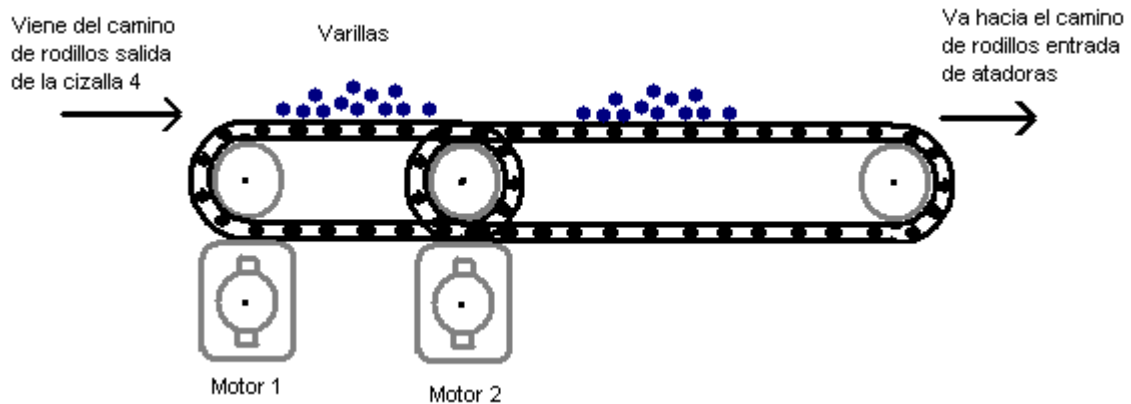


Figura 1. Paso de la varilla por el transferidor de mantos.

El problema que se presenta es que al pasar las varillas agrupadas una encima de otra mezcladas entre sí, como se muestra en la figura 1, se hace difícil su conteo, haciendo la labor muy susceptible al error. Aún superado este inconveniente la dificultad de poder medir o percibir el paso de las varillas por medio de dispositivos electrónicos es muy grande ya que las altas temperaturas, que llegan a superar los 250 °C, gran humedad y un ambiente con partículas de polvo de hierro hacen muy difícil el trabajo de cualquier equipo electrónico convencional de medición, planteando una dificultad extra al diseño de cualquier tipo de solución de esta índole.

Otro de los inconvenientes se presenta actualmente es que este método obliga al operario encargado del conteo a realizar la labor manualmente y por la forma del transferidor de mantos: una serie de cadenas de gran tamaño controladas por motores, corre el peligro de que alguna de sus prendas de vestir o hasta una parte de su cuerpo pueda ser atrapada, además la alta temperatura con la que sale las varillas convierten a esta labor en un riesgo considerable y posible fuente de accidente desde el punto de vista de la seguridad laboral, aún cuando el operario siga adecuadamente las normas de seguridad en cuanto a vestimenta y equipo de protección.

En un sistema de producción en línea como la que se trabaja en Laminadora Costarricense S.A. los atrasos producidos por un mal conteo de las varillas que conformaran los rollos o los accidentes laborales que se pueden presentar le cuestan tiempo, dinero y recurso humano a la compañía.

Todo esto hace muy necesario un nuevo sistema que automatice la labor de conteo, disminuyendo los riesgos laborales a la vez que garantice una gran fiabilidad para evitar posteriores rectificaciones en la línea de producción una vez atadas las varillas. Además de que se mejoran los controles, se simplifica la labor del operario ayudando a los índices de seguridad y producción dentro de la planta.

1.2 Solución seleccionada

Los principales requerimientos planteados por la empresa fueron:

- Modificación eléctrica o mecánica que permita el paso de una varilla a la vez.
- Actuación de uno o más sensores que permitan determinar de forma fiable el paso de cada varilla individual por el sistema, haciendo la salvedad que no se espera un 100 % de efectividad para los primeros meses de funcionamiento.
- Conteo automático de la cantidad de varillas, el contador deberá poseer un indicador visual y permitir un reinicio del conteo una vez alcanzado un número pre-determinado de varillas, además de llevar un acumulado del total de producto que haya pasado por el sistema.
- Se debe permitir la modificación del conteo por parte del operario en caso de que el mismo detecte un error de conteo del sistema.
- Cada vez que se alcance el número de varillas necesarias para cada grupo el sistema deberá accionar una alarma sonora y visual que indique la conclusión del ciclo de agrupación.
- El sistema deberá permitir al operador seleccionar el tipo de varilla que se está produciendo. Esta selección modificará el número de varillas de cada grupo y establecerá las condiciones para la activación del reinicio de conteo y de las alarmas indicadoras del mismo.

- Adecuación de los distintos dispositivos a un ambiente desfavorable de operación con: altas temperaturas (superiores a 250° C), vibraciones, alto ruido acústico y eléctrico (gran cantidad de motores), alta humedad y considerable cantidad de partículas de polvo de hierro en el ambiente.
- Comunicación con el sistema general de control de la planta, permitiendo la visualización remota de los parámetros y su modificación.

Aunque originalmente se planteaba un sistema mecánico para separar la varilla y poder facilitar su conteo, se optó por implementar un control de velocidad diferencial para los motores 1 y 2 de la figura 1, al aumentar la velocidad del motor 2 y por lo tanto de las cadenas que conforman el transferidor se podrá lograr una separación de la varilla que facilite su detección, como se muestra en la figura 2.

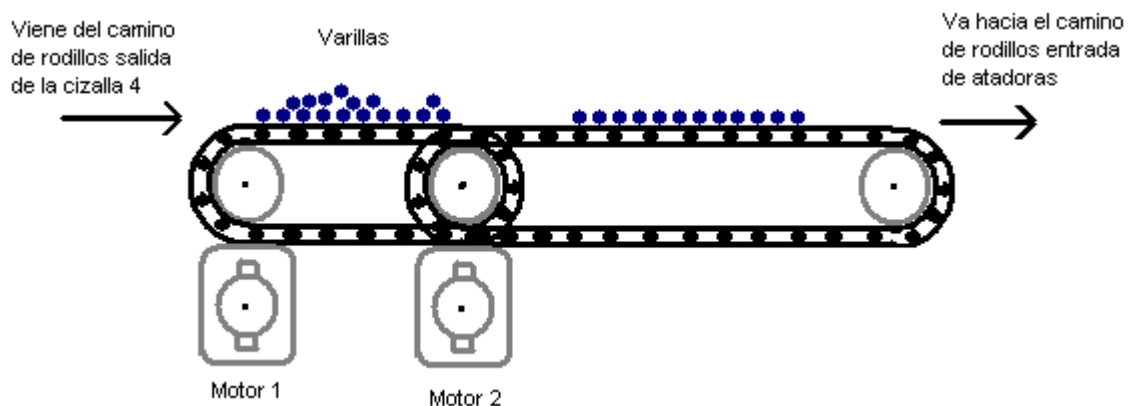


Figura 2. Forma en la que se pretende que pasen las varillas por el transferidor de mantos.

Para lograr la adecuada separación de la varilla se agregó un sistema de potencia para el control de los motores por medio de un variador de frecuencia, modelo ALTIVAR 31, fabricado por Telemecanique. Este dispositivo 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 el CPU, haciendo el sistema más versátil y dinámico.

Uno de los grandes retos fue encontrar un sensor que soportara las condiciones físicas del ambiente antes mencionadas y a la vez fuera confiable y con una adecuada velocidad de trabajo (menor a los 10ms), por esto se realizó un estudio de las características físicas de la varilla y su variación con respecto al grosor de la misma, se estudiaron condiciones como la variación de la temperatura y la velocidad de paso entre cada varilla. Aún así la jefatura del departamento eléctrico no espera que el sistema funcione a un 100 % de efectividad, se espera eso si que la puesta en marcha logre disminuir la intervención manual del operario y sea una base para en el futuro contar con un sistema totalmente automatizado. El sensor seleccionado es un sensor fotoeléctrico del tipo difuso¹ modelo WT24-2B440, fabricado por la empresa SICK.

La unidad central de procesamiento seleccionada para el control del sistema a implementar es el Sistema Integrado de Control y Regulación de Procesos fabricado por la empresa Ingelectric-Team SA, conocido como SISTEAM A. Este es un sistema automático muy versátil diseñado para requerimientos de control de gama media o alta que se encarga de recibir las señales del sensor que determina el paso de cada varilla, este sensor funciona como una señal de control para el incremento del contador y una vez alcanzado el número deseado de varilla, preestablecido por el operador, el sistema debería indicarlo con una alarma visual y otra sonora.

El conteo del sistema debe ser visible por medio de un indicador luminoso o pantalla, la cual debe ser grande y fácilmente visible porque deberá ubicarse a unos 20 metros de donde se encontrará laborando el operario, para lo que se escogió una pantalla de mensajes de tipo LED. El sistema que se plantea, dados los requerimientos esperados y como parte del período de prueba, tendría al operario haciendo un conteo visual de manera que este pueda corroborar el conteo en el indicador luminoso instalado y su cuenta personal. El operador tiene la capacidad de modificar el conteo del sistema en caso de que su conteo visual difiera del realizado por el contador electrónico. El número de varillas debería estar programado y este sería fijado con anterioridad por el operador al definir de forma previa el tipo de varilla que esta en producción. El contador puede reiniciar el conteo automáticamente o también el operario puede también realizar esta labor por medio de la interfaz establecida.

¹ Para más detalles diríjase al capítulo 3, Marco Teórico sección 3.2.1 de este informe.

Toda la interfaz se deberá implementar de manera que pueda ser fácilmente accesible al usuario sin necesidad de moverse demasiado desde el punto donde se encuentra contando el paso de las varillas. La interfase contará con un sistema para el incremento y decremento manual de la cuenta además del reinicio de conteo, todos estos implementados mediante botones y/o pedales. Para el caso del selector de tipo de varillas deberá ser de fácil utilización, el tipo de varilla se seleccionará con anticipación para lo que se usará una pantalla sensible al tacto.

Para las salidas se deberán implementar las alarmas luminosas y sonoras antes mencionadas. Para ellas se debe tomar en cuenta los factores que imperan en la planta, ruido, temperatura y distancia al operador, para que esté sea apreciado fácilmente por el operario. Además de estas alarmas la pantalla que indicará el número del conteo es otra salida del sistema.

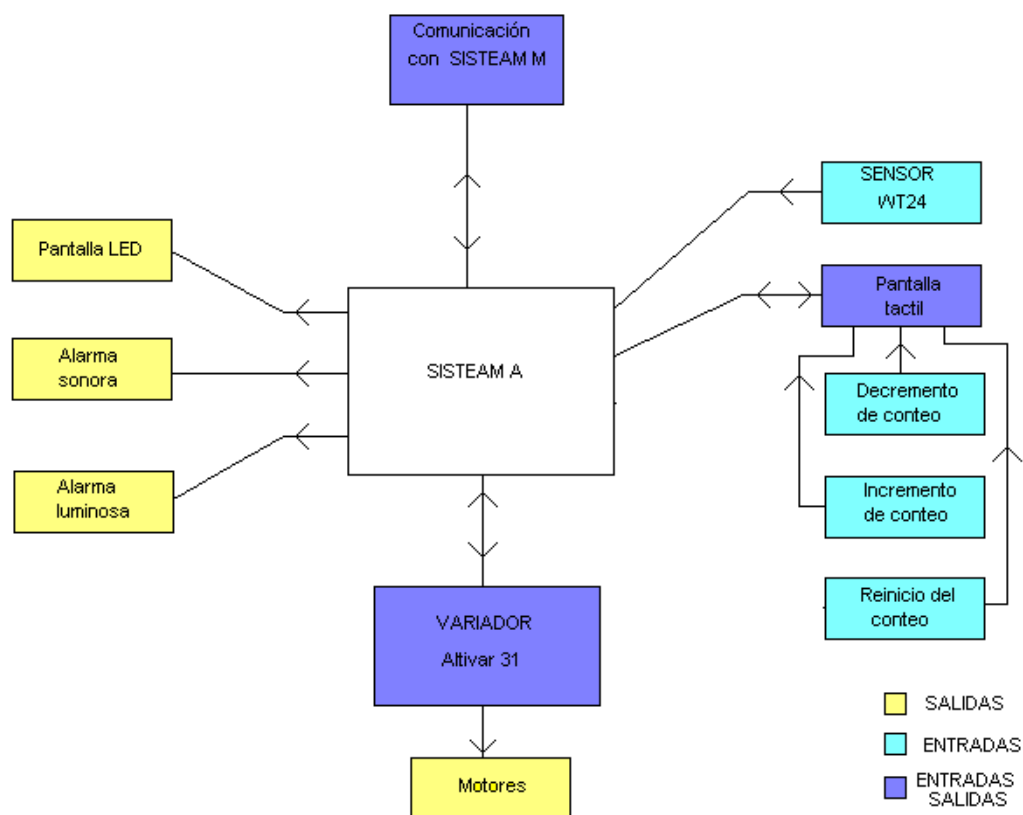


Figura 3. Diagrama de bloques de la solución seleccionada.

Capítulo 2: Meta y objetivos

2.1 Meta

Mejorar la eficiencia del proceso de conteo de las varillas durante su paso por el transferidor de mantos por medio de un sistema electrónico, que a la vez que se permita controlar esta sección de la producción y almacenar los datos de obtenidos, disminuyendo la cantidad de errores y los riesgos laborales que se presentan con el método actual.

2.2 Objetivo General

Diseñar e implementar un sistema de automatización que permita controlar el proceso de agrupación de varillas y a la vez realice un conteo de las mismas, mejorando el control de la producción de varillas.

2.3 Objetivos Específicos

a. Objetivos de hardware

1. Elaborar un modelo físico-teórico sobre la transferencia de calor que facilite la selección de sensores para el sistema.
2. Construir un circuito capaz de manejar las señales de los sensores y transmitir la información al sistema de conteo.
3. Implementar un circuito o sistema de potencia que permita al sistema de control manejar los motores involucrados en el proceso.
4. Construir una interfaz amigable al usuario, que le permita seleccionar el tipo de varilla en producción.

5. Implementar una interfaz visual que permita a operarios y/o encargados de la producción conocer el número de varillas en producción.

b. Objetivos de software

1. Escribir un programa encargado de supervisar los sistemas periféricos, como el módulo de sensores y motores.
2. Escribir una rutina que se encargue de realizar el conteo de las varillas.
3. Implementar una base de datos que permita, aún reiniciada la cuenta, mantener un acumulado de la cantidad de varilla producida.
4. Escribir las rutinas que permitan atender adecuadamente los requerimientos solicitados por el operador mediante dispositivos accionados manualmente (teclados o botones parte de la implementación física).
5. Elaborar las rutinas necesarias para la comunicación con el sistema central de la planta.

c. Objetivos de documentación

1. Elaborar un manual para el operario que explique la forma de manejar el sistema.
2. Elaborar el diagrama eléctrico y manual de funcionamiento para los encargados de mantenimiento.

Capítulo 3: Marco teórico

3.1 Descripción del proceso a mejorar

Como parte del proceso continuo de mejoramiento de los sistemas de producción la empresa Laminadora Costarricense S.A. desea automatizar el sistema de conteo y agrupación de las varillas. La planta de la empresa trabaja con un proceso de producción en línea y la mayor parte de su sistema se encuentra automatizado o semi-automatizado.

Laminadora Costarricense S.A. fabrica las varillas de acero corrugadas, lizas y cuadradas cumpliendo con las normas internacionales ASTM A-615 y la N° 12666 MEIC propia de Costa Rica.

El proceso de fabricación de varilla cuenta con varias etapas que se pueden observar en la figura 4.

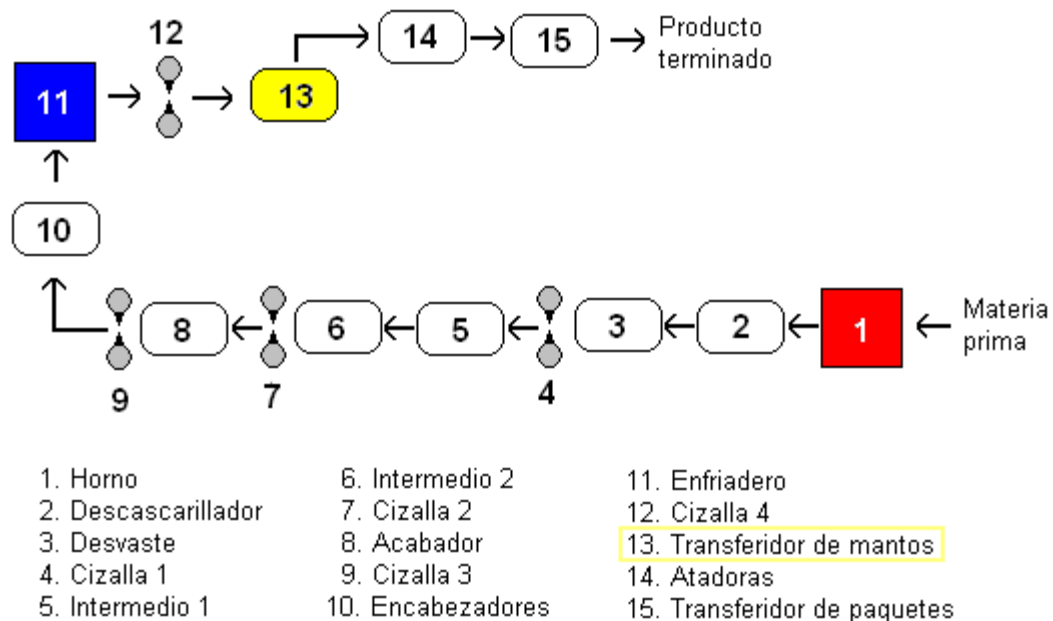


Figura 4. Diagrama de bloques del proceso de fabricación de varilla.

La materia prima esencial son los lingotes de hierro que ingresan en el horno donde son calentados a más de 1000 °C, a esta temperatura el metal se encuentra en un estado maleable que permite laminarlo. La función del descascarillador es eliminar impurezas de la superficie del lingote ya calentado a la salida del horno, las siguientes etapas de la 2 a la 10 (ver figura 4) comprenden una serie de mecanismos de moldeo, arrastre y corte, conformados en su mayoría por rodillos de laminación, rodillos de arrastre y cortadoras mecánicas (impulsados por motores CC y trifásicos en el caso de los rodillos de arrastre) que permiten ir estirando y dando forma al lingote hasta convertirlo en varillas de distintos diámetros y longitudes según sea el caso. En la sección del enfriadero, bloque 11 de la figura 4, se disminuye la temperatura del hierro para lograr un estado sólido, aunque la temperatura del producto a la salida del mismo puede superar los 300 °C.

La sección 13 (ver figura 4) corresponde al transferidor de mantos, la cual es la sección que presenta el problema planteado en el capítulo 1.

Tabla 1. Características de la varilla por longitud, peso, diámetro y cantidad por rollo.

VARILLA PESO Y ROLLO									
Varilla	Diámetro		Peso	Longitud (m)					
Nº	Pulg.	mm	kg/m	6	9	12	6	9	12
Varilla deformada y lisa				Cantidad de varilla por manto			Cantidad de mantos por paquete		
3	$\frac{3}{8}$	9,5	0,56	75	75	75	6	6	6
4	$\frac{1}{2}$	12,7	0,994	60	60	60	5	5	5
5	$\frac{5}{8}$	15,9	1,552	40	40	40	4	4	4
6	$\frac{3}{4}$	19,1	2,235	32	32	30	5	5	4
7	$\frac{7}{8}$	22,2	3,042	24	24	18	5	5	5
8	1	25,4	3,973	20	20	20	5	4	3
9	1 $\frac{1}{8}$	28,6	4,96	10	10	10	10	6	4
10	1 $\frac{1}{4}$	31,8	6,403	12	10	10	5	5	3
11	1 $\frac{3}{8}$	34,9	7,906	10	10	10	6	4	2

Este proceso final de agrupación las varillas se agrupan en rollos para facilitar su transporte y venta fuera de la planta. Este proceso se realiza en las atadoras (sección 14 de la figura 4) y la cantidad de varilla en cada rollo dependerá de las características individuales de cada

varilla, en la tabla 1 se muestran algunas de sus características y la cantidad de varilla de acero en cada manto, a su vez cierto número de mantos conforman un paquete, el cual en el caso de la varilla número 3, por ejemplo, llega a contener 450 varillas.

En la última sección, la número 15 según la figura 4, se encuentra el transferidor de paquetes, en esta sección es donde se encuentran las balanzas que determinan el peso de los rollos de varilla.

3.2 Antecedentes bibliográficos

3.2.1. Sensores

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.

Su utilidad en los robots y sistemas modernos de automatización es muy grande, ya que le permiten a los diseñadores crear y programar mecanismos más autónomos que realicen labores dependiendo de las características a su alrededor y tomar decisiones con respecto a las mismas.

Actualmente existe una extensa gama de sensores que se adaptan a muy diversas necesidades, además de la existencia de varias empresas dedicadas a la fabricación de los mismos.

En adelante la mayoría de las referencias se harán sobre sensores de uso industrial, estos sensores se clasifican principalmente de acuerdo con el principio de medición que utilizan. La mayoría de los fabricantes (Allen-Bradley, Siemens, Cutler-Hammer, Sick y Pepperl-Fuchs) clasifican los sensores en 4 categorías: fotoeléctricos, inductivos de proximidad, ultrasónicos y capacitivos de proximidad.

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 fotosensores principalmente basados en fotodiodos y fototransistores, ya que estos son componentes semiconductores que conducen corriente eléctrica dependiendo de la cantidad de luz detectada. Estos fotosensores 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.

Los lentes se utilizan para focalizar tanto la emisión como la recepción de luz, permitiendo ajustar la relación entre el campo visual del sistema y la distancia de detección del mismo, ya que entre más amplio el campo visual más cercano debe de estar el objeto, en cambio con un haz de luz focalizado se puede aumentar la distancia de detección aunque se requerirá de mayor precisión en la alineación de los dispositivos.

En el caso de los dispositivos de salida estos se utilizan para relacionar la detección del fotosensor con la lógica de la maquinaria, su potencia, limitaciones y características ya sean analógicas o digitales.

Existen tres configuraciones o modos de detección fotoeléctrica:

1. *Haz transmitido*: Estos detectores funcionan de forma que el emisor y el receptor se encuentran en posiciones opuestas, de forma que la luz emitida incida directamente en el receptor. El objeto a detectar debe interferir o bloquear el haz de luz entre la fuente y el receptor.

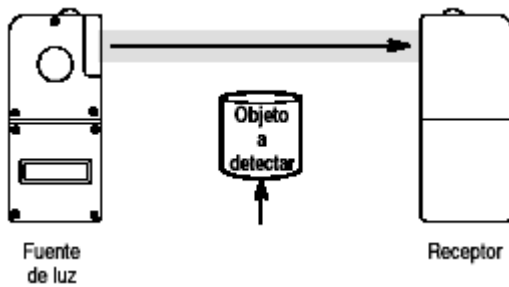


Figura 5. Modo de detección haz transmitido.

2. *Retrorreflectivo:* Para este sistema el emisor y el receptor se encuentran en el mismo envoltente, de manera que el haz emitido se refleja en una superficie especial donde y viaja de vuelta al sensor donde es detectado por el receptor. El sensor se activara si el haz se ve interrumpido.

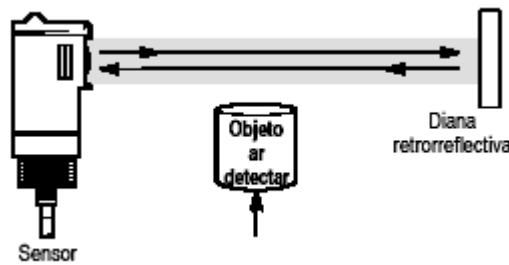


Figura 6. Modo de detección reflectivo.

3. *Difuso:* Este mecanismo se utiliza en situaciones donde es difícil o imposible poder acceder al otro lado del objeto. En esta situación se hace necesario apuntar la luz de forma directa al objeto, esta será reflejada por la superficie del objeto en todas las direcciones y el receptor deberá detectar la pequeña fracción de luz que se reflejará directamente sobre el sensor.

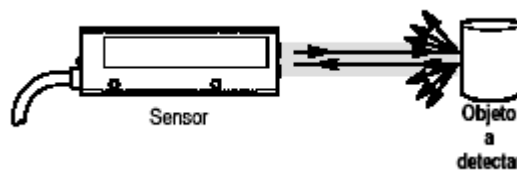


Figura 7. Modo de detección difuso.

Debido a sus características el modo de detección haz transmitido es el de mayor rango de alcance y el difuso es el de menor. Además en el caso del sistema difuso el tipo de material influye mucho, ya que por ejemplo un material brillante reflejará la mayor parte de la luz y de no estar alineado adecuadamente el sensor podría no recibir la luz reflejada, en cambio en el caso de materiales oscuros u opacos absorberán la mayor parte de la luz, haciendo difícil la detección y obligando a colocar el sensor a muy corta distancia del objeto. Para mayor detalles se pueden consultar los manuales y catálogos de los fabricantes, algunos de ellos se indican en la bibliografía [9], [11] y [12].

3.2.2. Sistema de automatización

Los dispositivos de automatización implican una gran cantidad de sistemas o procesos que operan con mínima o sin intervención del ser humano. En la actualidad el control de las máquinas puede ser realizado por ellas mismas sin la intervención de un operario gracias a la retroalimentación de la información que recibe el control de parte de sensores que le permiten al sistema percibir cambios en sus alrededores de ciertas condiciones tales como temperatura, velocidad, fluidez de corriente eléctrica y otros, gracias a la información captada por los sensores y a la programación con la que cuenta el control la máquina logra realizar los ajustes necesarios para poder compensar cambios de las variables o realizar operaciones con respecto a las mismas.

El proceso general y simplificado de funcionamiento de los sistemas de automatización se puede dividir en 3 etapas: medición, evaluación y control.

La medición de las diferentes variables es muy importante para el sistema ya que de estas mediciones dependerá en adelante la toma de decisiones de la máquina. Una vez que el mecanismo a recopilado la información del entorno y de las variables involucradas en la operación debe evaluar dicha información, esta es la segunda etapa del proceso, en esta sección el sistema deberá determinar si una acción debe ser llevada a cabo o no. La etapa de control será la resultante de las dos etapas anteriores y conlleva la realización de una acción o proceso por parte de la máquina.

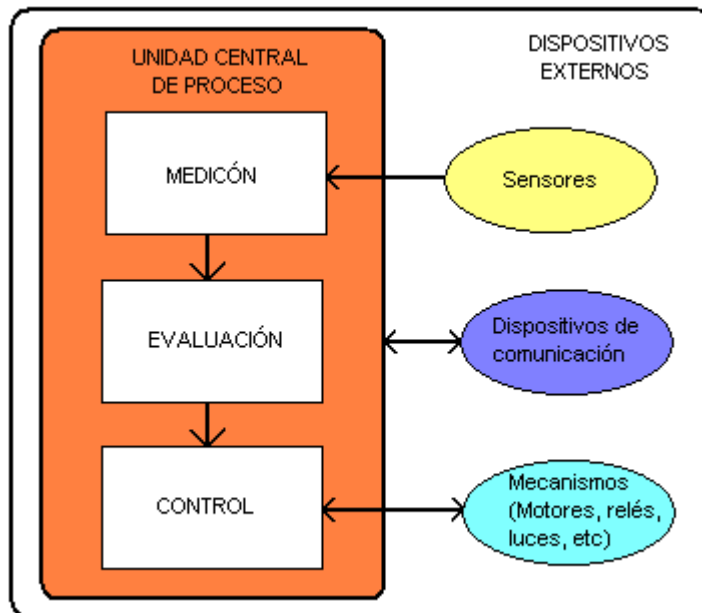


Figura 8. Diagrama simplificado de los sistemas de automatización.

Como se observa en la figura 8, además de las etapas de proceso del sistema y su vinculación con las variables por medio de sensores y actuadores (interfaces entre el control y los mecanismos), hoy en día se hace de mucha importancia la comunicación del sistema con bases de datos, sistemas de supervisión, registro o información que le permitan al mecanismo otra fuente de retroalimentación de información, así como la posibilidad de controlar el sistema de manera remota.

El adecuado funcionamiento de los sistemas de control dependerá también de la programación del o los dispositivos involucrados en la unidad central de proceso o CPU. Dichos dispositivos pueden tener una programación fija, que solo permitirá al sistema evaluar las condiciones y efectuar las acciones pertinentes, o podría tener una programación más versátil que le permita al sistema guardar información en memoria para utilizarla posteriormente o cambiar las condiciones y acciones sobre la marcha del proceso.

3.3 Descripción de los principales principios físicos y electrónicos relacionados con la solución del problema.

3.3.1. Termodinámica y la transferencia de calor

Como se ha mencionado el proceso de fabricación de varillas involucra el calentar el acero a muy altas temperaturas, las cuales pueden superar los 1000° C, por esto aún en las etapas finales del proceso la temperatura de las varillas puede superar los varios cientos de grados centígrados. Este es el caso de la sección donde se implanta el sistema de conteo y principalmente el sensor encargado de determinar el paso de las varillas. Además se debe tomar en cuenta que la mayoría de sensores se fabrican para soportar temperaturas de menos de 100°C lo que hace del estudio de la transferencia de calor del sistema de gran importancia para poder tanto escoger, como para predecir el adecuado funcionamiento de este equipo.

La transferencia de calor se puede definir como la transferencia de energía debido a una diferencia de temperatura². Existen 3 formas o procesos para la transferencia de calor: conducción, convección y radiación.

La conducción se produce cuando en un medio estacionario se presenta un gradiente de temperatura, donde a mayor energía de las moléculas mayor será la temperatura y a menor temperatura menor energía molecular. La transferencia de calor por unidad de área se puede expresar como:

$$q_x = -k \frac{dT}{dx} \quad (3.1)$$

que representa la velocidad con que se transfiere calor en la dirección de x por área unitaria perpendicular a la dirección de transferencia, y proporcional al gradiente de temperatura

² Incropera, Frank P., DeWitt, David P. “**Fundamentos de transferencia de calor**” pag. 2. 4ª edición. Prentice Hall. México, 1999.

(dT/dx). Las unidades del flujo se dan en Watts por metro cuadrado (W/m²). La “k” es la constante de proporcionalidad conocida como conductividad térmica (W/m•K).

En el caso de la convección se presenta cuando la transferencia de calor ocurre entre una superficie y un fluido en movimiento estando estos medios a distintas temperaturas. En este caso la transferencia energética se compone de 2 mecanismos: por movimiento molecular aleatorio (difusión) y debida al movimiento global o macroscópico del fluido. Sin importar la naturaleza particular del proceso, la transferencia de energía calórica por convección se puede representar mediante la ecuación:

$$q_x = h \cdot (T_s - T_\infty) \quad (3.2)$$

donde h se conoce como el coeficiente de transferencia de calor por convección (W/m²•K), T_s representa la temperatura de la superficie y T_∞ la temperatura del fluido.

La última forma de transmisión de energía es la radiación. Esta forma de transmisión se da debido a que todas las superficies con temperatura finita emiten energía en forma de ondas electromagnéticas, esto implica que la radiación no necesita de un medio para transmitir la energía. La radiación emitida por un material dado dependerá de la energía térmica (temperatura) del cuerpo, y la velocidad a la que se libera esta energía por unidad de área se denomina potencia emisiva superficial E.

$$E = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4 \quad (3.3)$$

Donde ε es una propiedad radiativa de la superficie conocida como emisividad, y su rango es de $0 < \varepsilon < 1$. El término σ es la constante de Stefan-Boltzmann y tiene un valor de $\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$ y T se refiere a la temperatura de la superficie.

Otra ecuación importante es la que permite determinar la relación entre la energía térmica suministrada a un cuerpo y el cambio en la temperatura del mismo, la cual se obtiene de la ecuación:

$$q = m \cdot C_p (T_{final} - T_{inicial}) \quad (3.4)$$

Donde C_p corresponde a la capacidad calorífica del material o calor específico (medido en J / kg • K) la cual es una característica propia de cada sustancia y m se refiere a la masa en kilogramos del material.

3.3.2. Modelo eléctrico matemático de los motores trifásicos

La función de los motores eléctricos es transformar la energía eléctrica en energía mecánica. Para poder entender y modelar los fenómenos magnéticos y electromecánicos que ocurren al interior de un motor se hace necesario la construcción de circuitos eléctricos equivalentes, que permiten dar una idea general del comportamiento de la energía dentro del sistema.

El siguiente modelo se enfocará en el circuito equivalente de motores trifásicos, ya que los motores del sistema son: 1LA7107-4AA11 y 1LA7133-1AA61; motores trifásicos de cuatro polos fabricados por SIEMENS.

En el estator de un motor polifásico de inducción, como es el caso del motor trifásico en análisis, la energía eléctrica que se suministra debe producir una onda de flujo magnético en el entrehierro la cual a su vez suministra la fuerza contraelectromotriz capaz de transformar la energía eléctrica en mecánica. El circuito equivalente del estator se muestra en la figura 9. Existe una diferencia de tensión entre la tensión aplicada al estator (V_1) y la fuerza contraelectromotriz (E_1), la cual se debe a las pérdidas de energía en el entrehierro principalmente debidas a los flujos magnéticos de dispersión. Estas pérdidas se consideran en la ecuación 3.4.

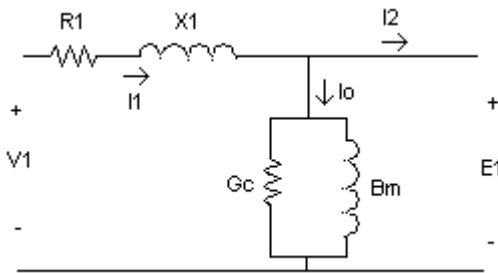


Figura 9. Circuito equivalente del estator para motor trifásico de inducción.

$$V_1 = E_1 + I_1(R_1 + jX_1) \quad (3.5)$$

Siendo:

V_1 = Tensión en las terminales del estator.

E_1 = Fuerza contraelectromotriz generada por el flujo en el entrehierro.

I_1 = Corriente del estator.

R_1 = Resistencia efectiva del estator.

X_1 = Reactancia de dispersión del estator.

Donde además se debe considerar que las cantidades son de tipo vectorial, o como se conoce en electricidad fasores, ya que cuentan con magnitud y ángulo.

Se toma en cuenta además que el flujo magnético creado en el entrehierro se debe también al aporte de corriente de flujo producida en el rotor. La corriente del estator se descompone en dos componentes: una de carga (I_2) y una de excitación (I_0). La corriente de carga debe producir la fuerza contraelectromotriz necesaria para compensar la corriente que se produce en el rotor y la de excitación (I_0) es la corriente adicional necesaria en el estator para crear el flujo resultante en el entrehierro, esta corriente se descompone a su vez en la corriente de pérdidas del núcleo, representadas por la admitancia G_c en la figura 9 y la corriente de magnetización retrasada 90° con respecto a E_1 , representada por la susceptancia B_m .

El aporte del rotor se da debido a que éste reacciona a la excitación del flujo produciendo una onda de fuerza magnetomotriz que se mueve a la misma velocidad que la onda de flujo. Aunque no hay un contacto físico entre el rotor y el estator, esta interacción de fuerzas

eléctricas, magnéticas y mecánicas, permiten que se modele el rotor con componentes eléctricos que además son directamente proporcionales a los valores del estator y solo difieren por una relación conocida como frecuencia de deslizamiento (s). Esta relación se muestra en la figura 10.

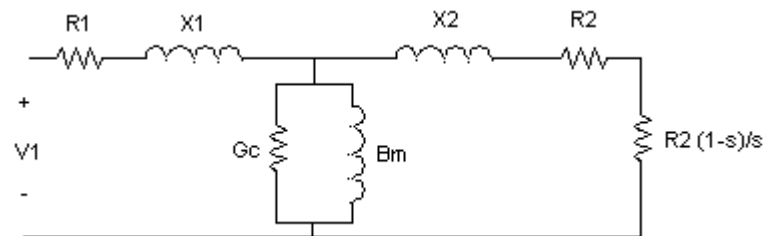


Figura 10. Circuito equivalente del motor trifásico de inducción.

Capítulo 4: Procedimiento metodológico

4.1 Reconocimiento y definición del problema

A la hora de contactar a la empresa el problema del conteo de las varillas ya se encontraba establecido por la Gerencia de Producción y la jefatura del Departamento Eléctrico. Actualmente entre 16 y 24 paquetes de varillas diarios son devueltos de la bodega de producto terminado a la sección del transferidor de mantos para modificar el número de varillas que contienen, según entrevista realizada el 10 de febrero al jefe de producción Ing. Roberto González. El procedimiento conlleva al hacer un recuento manual del número de varillas de cada paquete que se sospeche, después del pesaje, tenga un inadecuado de las mismas y en caso de determinar el error se debe trasladar el paquete al transferidor de mantos (figura 4) para desamarrarlo, corregir la cantidad de varillas y su posteriormente atarlo nuevamente. Costándole mucho tiempo vital cuando se trabaja en una sola línea de producción. Debido a esto se plantea la necesidad de disminuir al mínimo estos retrasos en la línea de producción, implementando la base para un sistema que permita un conteo más efectivo de la varilla.

Según consultas realizadas con anterioridad al año 2005 por la jefatura del Departamento Eléctrico con miembros de la empresa española (Ingelectric-Team) encargada del montaje de la planta en Guápiles, la fabrica, como todas las que ellos han instalado o conocen, está diseñada para comerciar o distribuir las varillas por peso y no por unidad, lo que hace muy difícil la implementación de un sistema de conteo de cada unidad ya que la línea de producción no está estructurada para realizar esta labor. Aún así el jefe del departamento eléctrico de Laminadora, señor Gustavo Chavarría, tiene planteada la colocación de un sensor que ayude a determinar el paso de varilla por el transferidor de mantos, pero el mismo reconoce la dificultad al haber altas temperaturas y al hecho de que la varilla no pasa de forma individual sino que lo hace en grupos o mantos, lo que dificulta aún más el conteo, por lo que la empresa no espera un sistema 100 % efectivo.

Después de conocer y ver funcionando el transferidor de mantos y observar la labor del operario en ese sector y los posibles riesgos a los que se encuentra expuesto, se decidió

realizar una entrevista con el señor Bernard Paniagua, Jefe de Salud Ocupacional de la planta, donde se comentaron algunos aspectos del sistema actual y como se podría mejorar la situación al contar con un equipo que permitiera una menor intervención humana en el proceso.

4.2 Obtención y análisis de información

La investigación y recopilación de información inicio con el análisis visual de la línea de producción y principalmente del transferidor de mantos, para conocer el funcionamiento actual.

Posteriormente se inicia un período de investigación acerca del sistema de control de procesos con que cuenta la planta. Este sistema del tipo PLC, pero con algunas particularidades, principalmente por la orientación y forma de su diseño. En esta etapa se estudia la lógica y secuencia del programa del sistema para la sección de evacuación, el cual contempla varias secciones de la planta incluida el transferidor de mantos. El análisis permitió desarrollar un diagrama de flujo del proceso actual, el cual fue de gran utilidad para ir conociendo la forma de funcionar e interactuar de los distintos mecanismos en la sección del transferidor de mantos.

Paralelo a este estudio se realizó el análisis de las ingenierías o diagramas de conexión de los dispositivos de control y de potencia de la sección del transferidor de mantos, consultando los diagramas esquemáticos y comparándolos con una inspección visual de los paneles donde se ubican los sistemas de control y alimentación.

Se realizó un seguimiento de las temperaturas de la varilla en diferentes puntos de la sección de evacuación, para ello se utilizó un termómetro infrarrojo Fluke 65. Durante este estudio realizado por varios días se pudieron determinar las temperaturas para varios tipos de varilla y en distintas zonas de evacuación. En la tabla 2 se presenta un resumen los valores de temperatura para distintos tipos de varilla.

Tabla 2. Resumen de las mediciones de temperatura en el traslado de mantos.

# varilla	Cantidad de mediciones	Temperatura máxima (°C)	Temperatura mínima (°C)	Promedio (°C)	Temperatura Ambiente (°C)
3	32	196	94	166	32.3
4	4	228	224	225	31.1
5	7	234	211	224	29.3
10	6	362	305	332	32.5

Con base en esta información se realizó el desarrollo matemático acerca de la transferencia de calor del sistema que permitiera determinar la temperatura a la cual podría estar expuesto el sensor, este análisis se presenta en el capítulo 5.

También se determinaron las características eléctricas de los motores encargados de conducir la varilla a través del transferidor de mantos. Primero se verificó en los diagramas de ingeniería el modelo de los motores. Para la primera sección se utilizan 2 motores que trabajan en paralelo sobre la misma barra encargada de mover las cadenas que mueven los grupos de varillas. El modelo del motor es 1LA7-107-4AA de Siemens, un motor trifásico de 4 polos y 3 kW de potencia. En la segunda sección también trabajan 2 motores conectados a la misma carga mecánica, el modelo de estos motores es 1LA7-133-4AA de Siemens, son motores trifásicos de 4 polos y 7.5 kW de potencia.

Los valores de placa de los motores se resumen en las tablas 3 y 4:

Tabla 3. Valores de placa del motor 1LA7-107-4AA.

Frecuencia (Hz)	Voltaje (V)	Tipo de conexión	Corriente nominal (A)	Factor de potencia	Velocidad nominal (rpm)	Potencia (kW)
60	460	Y	6.2	0.83	1720	3.45

Tabla 4. Valores de placa del motor 1LA7-133-4AA.

Frecuencia (Hz)	Voltaje (V)	Tipo de conexión	Corriente nominal (A)	Factor de potencia	Velocidad nominal (rpm)	Potencia (kW)
60	460	Δ	14.7	0.83	1755	8.6

Adicionalmente se midieron los valores de corrientes y tensiones de los motores para las distintas fases de alimentación así como de las tensiones de línea. También el valor de la corriente eléctrica nominal en cada fase y la corriente de arranque de los motores. Estas mediciones se presentan en la tabla 4. Aunque las mediciones se realizaron para los 4 motores, al corroborar como era de esperarse que para los motores de igual modelo las características son prácticamente iguales, en la tabla se presentan las mediciones para un solo motor de cada modelo. Estas mediciones se realizaron con un multímetro FLUKE 179 en el caso de los voltajes y con un amperímetro de pinza FLUKE 337.

Tabla 5. Mediciones de las características eléctricas de los motores.

	1LA7-107-4AA				1LA7-133-4AA			
Fase	V _L (V)	V _F (V)	I _N (A)	I _A (A)	V _L (V)	V _F (V)	I _N (A)	I _A (A)
W	277	-	4.4	15.4	278	-	10.5	51.4
V	276	-	4.3	15.4	277	-	10.1	50
U	277	-	4.4	15.5	277	-	10.2	61
W-V	-	481	-	-	-	481	-	-
W-U	-	479	-	-	-	479	-	-
V-U	-	479	-	-	-	479	-	-

Otro de los factores importantes es establecer la velocidad de paso de cada varilla por el transferidor, para obtener un parámetro acerca de la velocidad de respuesta del sensor y los mecanismos de control. Esta velocidad se determinó inicialmente de forma aproximada al medir el ancho de todo un manto y cronometrar el paso del mismo en un punto fijo. De esta manera se calculó una velocidad de paso de la varilla, a la velocidad actual de los motores, en 0.44 m/s. En el caso de la varilla número 3 que es el caso más crítico, debido a su grosor de solo 9.6 mm la duración de paso teórica es de 22 ms, un valor que deberá ser tomado en cuenta como parte del diseño, tiempo de respuesta del sensor y los tiempos de ejecución de las tareas de conteo dentro del sistema de control.

El siguiente paso fue definir el sistema de control o CPU que se implementaría en la solución planteada. Se analizaron algunas opciones de PLCs en el mercado, principalmente Allen-

Bradley y Siemens, además se realizó un diseño base para un sistema utilizando un microcontrolador programable PIC16F877 de Microchip.

En el caso de los autómatas programables que cumplieran los requerimientos de velocidad, comunicación y adaptación al sistema tienen precios de algunos cientos de dólares pero además de comprar el equipo es necesario pagar por el software de programación, lo que aumenta la factura de compra de los mismos.

Para la solución con microcontrolador, el precio de los componentes es menor que en el caso de los autómatas programables, además el software de programación es gratuito y brindado por el fabricante, pero debido su diseño requiere de más tiempo y cuidado, ya que se requiere de mayor número de etapas para su elaboración, además es necesario contar con un programador de dispositivos que aumenta considerablemente el costo de la solución.

Mientras se realizaba la cotización de equipos para presentar un análisis definitivo de costos y tiempo de diseño se presentó una tercera alternativa para el sistema de control al descubrir que en la bodega de repuestos de la planta existe todo un inventario de repuestos de los autómatas instalados, lo que economizaría el esperar el tiempo de entrega y la realización de la compra por parte de la empresa.

4.3 Evaluación de las alternativas y síntesis de una solución

En primer lugar era de gran importancia el definir la forma para determinar adecuadamente el paso de varilla por medio de un sensor que soportara la alta temperatura y tuviera una velocidad de respuesta adecuada.

Se estudiaron manuales y datos técnicos de sensores, se analizaron las cualidades y características de sensores inductivos, ultrasónicos, de temperatura y fotoeléctricos. Los inductivos se descartaron debido a que deben de estar muy cerca del objeto para detectarlo adecuadamente y las altas temperaturas de la varilla no lo hacen recomendable para esta labor. Los sensores ultrasónicos y de temperatura presentaban tiempos de respuesta que no permitirían establecer con la respuesta necesaria el paso de la varilla, por lo que se

enfocó la búsqueda en los sensores fotoeléctricos, los cuales permiten alejar el sensor de la varilla y que tienen velocidades de respuesta bastante altas.

Se analizó también la forma de funcionamiento de los variadores de frecuencia, se estudiaron los datos técnicos de variadores fabricados por Telemecanique, SSD e Ingelectric-Team. Estos datos se obtuvieron de manuales del fabricante obtenidos de empresas importadoras de estos equipos. Además se tuvo una entrevista con el ingeniero Norberto Quesada, encargado de electrónica de la empresa de automatización QRR Internacional S.A. quien explicó por medio de presentaciones de fabricantes el funcionamiento de estos dispositivos y su adaptación a distintos dispositivos y necesidades.

En el caso del CPU se analizaron 3 alternativas para la implementación del control, las cuales se describen con mayor detalle en el capítulo 5:

- a. PLC convencional.
- b. Tarjeta basada en microcontrolador PIC.
- c. Controlador de procesos SISTEAM.

Para la comunicación de las interfaces: la pantalla de mensajes LED, la pantalla táctil y un variador de velocidad para motores asíncronos, se debería establecer un protocolo de comunicación común que facilitara la colocación de los dispositivos en red. Se realizó un estudio bibliográfico en la Internet para establecer cuales eran los protocolos de comunicación más comunes y se comparó con las hojas de datos de los dispositivos que se iban estudiando. Además se tomó en cuenta que debido a las distancias entre los dispositivos se debía implementar la capa física en bajó el sistema CAN o RS-485, ya que son los buses de campo que permiten mayor inmunidad al ruido y una mayor distancia de transmisión. Este análisis llevó a la selección del protocolo de comunicación en serie MODBUS bajó el bus de campo RS-485.

En el caso de los motores se instaló un variador de velocidad para motores asíncronos con la idea de aumentar la velocidad del motor 2 (figura 2) y con esto lograr separar el manto de varillas para permitir al sensor determinar adecuadamente el paso de cada varilla. El variador fue escogido por la jefatura del departamento eléctrico de la compañía, por lo que

únicamente se revisó la instalación y se procedió a su programación y a la realización de pruebas para observar su funcionamiento. El modelo del variador es: Altivar 31 HD11N4 fabricado por Telemecanique. Las características del dispositivo se presentan en la tabla 6. Entre las ventajas que permitieron su adecuada inserción dentro del proyecto se encuentran el manejo de señales de control digitales de 24 V, como las que maneja la planta, además de la posibilidad de comunicación por medio de protocolo Modbus, lo que permitiría el cambio de parámetros de funcionamiento por vía remota de ser necesario.

Tabla 6. Datos del fabricante del variador de velocidad ATV31HD11N4.

Motor	Red (entrada)				Variador (salida)			
	Corriente de línea max. (A)		Icc de línea estimada max. (kA)	Potencia aparente (kVA)	Corriente de conexión max. (A)	Corriente nominal (A)	Corriente transitoria max. (A)	Potencia disipada en carga nominal (W)
Potencia indicada en placa (kW/HP)	En 380 V	En 500 V						
11/15	37,2	28,4	22	25,0	97	27,7	41,6	397

Para la pantalla de mensajes, la cual debería ser visible a unos 20 m de distancia, además de poderse comunicar con protocolo Modbus, por medio de la internet se analizaron varios modelos, pero solo se encontró un distribuidor en Costa Rica para este tipo de equipos, el cual distribuye los modelos *Inview Message Display*, los cuales cumplen con los requisitos planteados.

4.4 Implementación de la solución

En la primera parte del proyecto se realizó la recolección de datos de las características eléctricas del sistema. Para los motores involucrados en el sistema se resumen sus datos en la tabla 5, estos datos así como los datos del fabricante de los motores (tablas 3 y 4) son determinantes a la hora del diseño o selección de los dispositivos para el control de arranque y velocidad de los motores. En cuanto a las señales de campo, como sensores y señales de control, la planta tiene como norma establecida, como la mayoría de las industrias, las señales de 0 a 24 voltios para las señales digitales y de 4 a 20 mA las señales analógicas para uso de convertidores analógicos digitales. Para los sensores con salida de estado

sólido en Laminadora Costarricense S.A. se utiliza la configuración PNP para la lógica de salida.

Paralelamente a las mediciones y definición de parámetros eléctricos se realizaron las mediciones de temperatura de la varilla en varios sectores de la zona de evacuación, con esta información se podría definir los requerimientos de protección para evitar daños al sensor y otros equipos electrónicos que pudieran formar parte de la solución. Los datos de temperatura se muestran en la tabla 2 y el análisis de la información en el capítulo 5.

Para localizar un sensor que se adecuará a las necesidades del medio se investigó en manuales de fabricantes como: Allen-Bradley, Cutler-Hammer, Siemens, Sick, Raytec y Pepperl-Fuchs, se revisaron tanto manuales impresos como vía internet. Además se contactó con empresas como QRR sistemas y Elvatron para obtener datos sobre algunos sensores. También se conversó vía telefónica con los ingenieros electrónicos Hector Cordero B. y Miguel Salazar, ya que ambos cuentan con gran experiencia en el área de automatización industrial, para conocer un poco de sus experiencias y escuchar recomendaciones y opiniones acerca de las características de los sensores y el sistema de control que se podría implementar en el sistema.

En el caso de las interfaces se estudiaron manuales de fabricantes y se realizaron búsquedas en internet de equipos que pudieran adaptarse a la solución planteada.

Una vez determinado y adquirido el sensor (WT24-2B440) para determinar el paso individual de cada varilla se realizaron pruebas de distancia de sensado, además de algunas pruebas agregando polvo de hierro en el vidrio que protege los lentes e inclusive agregando un acrílico entre el sensor y el objeto a detectar. Se determinó que el sensor puede detectar entre varillas cuando existe una separación entre ellas de unos pocos milímetros (2 o 3 mm), e inclusive se logró determinar el paso de 2 varillas sin separación entre ellas como se muestra en la figura 11, pero esta detección se alcanzó acomodando las varillas manualmente en frente del lente y haciéndolas pasar suavemente, lo que no pasaría con el paso de las varillas en el apilador de mantos durante la producción, además que se ajustó varias veces la ganancia del sensor para poder alcanzar este nivel de precisión.

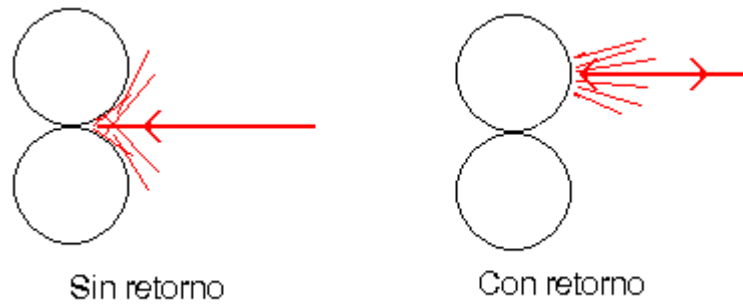


Figura 11. Detección de varillas individuales con sensor fotoeléctrico reflectivo difuso.

Estas pruebas permitieron determinar la alta sensibilidad del sensor, pero aún esto se hizo evidente la necesidad de lograr una separación de al menos unos milímetros para poder detectar adecuadamente el paso de una sola varilla. Además se realizaron pruebas para determinar la distancia de detección de una varilla dependiendo de la ganancia ajustada del sensor, estos resultados se presentan en la tabla 7.

Tabla 7. Pruebas para distancia de detección de varilla según ganancia para el sensor WT24-2B440.

# medición	Ganancia	Distancia mínima (cm)	Distancia máxima (cm)
1	.22	4.7	22
2	.22	4.6	22
3	.25	7	25
4	.25	5	26.5
5	.30	4.7	29.5
6	.30	5.2	31.5
7	.36	6.5	37.5
8	.36	6	38.5

Posteriormente se realizó la programación del variador de velocidad ATV31HD11N4 instalado para controlar la velocidad del motor de la sección 2 del trasferidor de mantos (1LA7-133-4AA) y se realizaron pruebas para observar su adecuado funcionamiento.

Realizado esto se procedió a coordinar con el departamento mecánico la colocación de un soporte para el sensor, además de la labor de los técnicos del departamento eléctrico en la

instalación del cableado desde el soporte instalado hasta una sección de borneras cercana al sector, de modo que permitiera suministrar al sensor de corriente eléctrica y recibir la señal de control suministrada por este.

Al tener ya instalado el variador de velocidad en el motor y una vez finalizadas las labores de adecuación del soporte y cableado para el sensor en la zona del trasferidor, se realizaron mediciones con el osciloscopio FLUKE 199C para observar la forma de la señal de salida del sensor. Una muestra de estas gráficas se presenta en la figura 12. Esta gráfica corresponde al paso de varilla número 3 y como puede observarse en la figura existe un pulso de mayor duración, dado que la velocidad de transferencia de la varilla permaneció constante se puede asegurar que ese pulso corresponde al paso de al menos 2 varillas, que debido a la separación o colocación de las mismas hizo que el sensor marcará su paso en un único pulso, aunque de mayor duración que los demás.

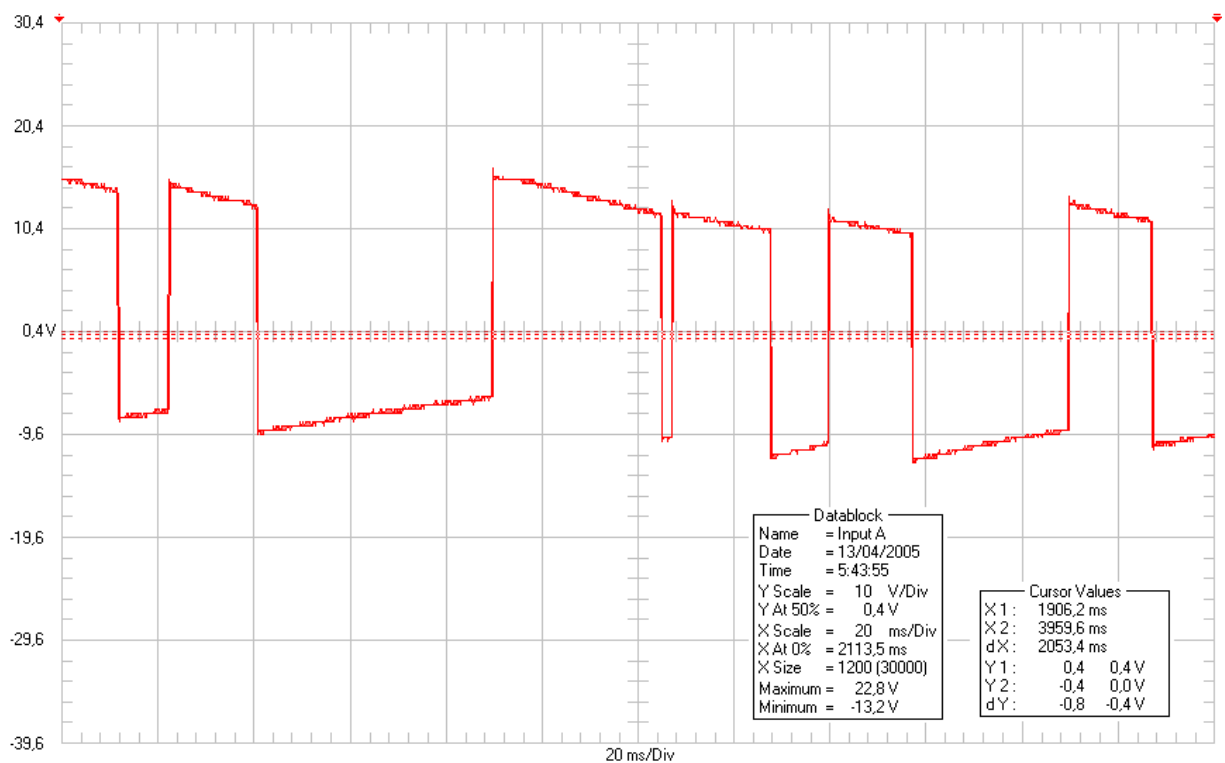


Figura 12. Gráfica de la salida del sensor tomada con osciloscopio.

Esta gráfica permitió cuantificar de forma muy precisa la duración del pulso que determina el paso de una varilla, lo que permitiría más adelante hacer adecuaciones al software el programa de control de manera que pudiera distinguir el ancho de los pulsos y así mejorar la exactitud del conteo.

En el caso del sistema de control central se procedió a determinar cuáles de los módulos se requerían para la solución y se realizó la solicitud de préstamo de equipo a la bodega de la empresa, cabe aclarar que por decisión de la empresa el sistema a implementar aunque debía ser de entera funcionalidad, sería catalogado como la base para implementar este sistema de control en los PLCs ya instalados en la planta. Lo que quiere decir que la solución final será una demostración del funcionamiento de los dispositivos como sensores, interfaces y controladores de velocidad, además de la lógica y secuencia del programa de control, para luego adaptar la implementación a los actuales sistemas de control.

Una vez obtenido el equipo por parte de la bodega, se armaron todos los componentes de hardware y se procedió a incorporarles programas de pruebas para registrar la lectura de entradas y salidas digitales, así como de algoritmos básicos de manejo de variables. Una vez lograda la adecuada lectura de datos tanto de memoria interna como de variables de entrada-salida se programaron las rutinas de comunicación con la pantalla táctil para de esta manera realizar pruebas iniciales en la mesa del taller eléctrico.

Instalados y probada la comunicación entre el CPU (SISTEAM A), el sensor y la pantalla táctil se realizaron pruebas para chequear los algoritmos de sistema de conteo. Luego de realizadas estas pruebas y después de realizadas algunas modificaciones en la presentación de la información en la pantalla táctil, se procedió a instalar el sistema en la zona de evacuación y probar su desempeño en el conteo de varilla. Inicialmente y debido a que no se ha instalado la tubería de agua para la disipación de calor en el sensor, se realizaron pruebas con varillas traídas de la bodega de producto terminado, las cuales se encuentran a temperatura ambiente.

4.5 Reevaluación y rediseño

Es de gran importancia la reevaluación periódica de los alcances del proyecto. La primera evaluación plantea los alcances del sistema para determinar adecuadamente el número de varillas producidas, un análisis por parte de los encargados del área de producción del desempeño y nivel de satisfacción con los resultados de la implementación permitiría conocer nuevas necesidades o la opción de hacer cambios al sistema para adecuarse a nuevas situaciones o productos.

Durante el desarrollo del proyecto y como se especifica en este informe gran parte del proyecto consistió en investigar y evaluar las posibilidades y alcances de los dispositivos a implementar, de manera que el proceso de la selección final conlleva un análisis que permitió la constante reevaluación de las alternativas que se fueron planteando, así como de cambios en el diseño original que se adecuaron para brindar una mejor solución.

Desde el punto de vista del departamento es muy importante mantener el registro del funcionamiento y mantenimiento de los distintos dispositivos que conformaron la solución, ya que esto permite determinar el funcionamiento correcto de los dispositivos, así como plantear la necesidad de mejorar o reemplazar dispositivos que pudieran tener un mejor desempeño, ya que como es sabido cada año las innovaciones tecnológicas nos permiten obtener dispositivos de mejor calidad y versatilidad.

Capítulo 5: Descripción detallada de la solución

Inicialmente era de gran importancia cuantificar las condiciones adversas del medio, principalmente la temperatura ya que este era un parámetro muy importante para establecer cual o que tipo de sensor podía adaptarse a las altas temperaturas, a la vez que tuviera una velocidad de respuesta que pudiera detectar el paso de una varilla en unos pocos milisegundos. Fue necesario por lo tanto realizar un modelo matemático de la transferencia de calor de las varillas al sensor.

En general los sistemas de irradiación de calor son complejos debido a que dependen de las características de la superficie (área, forma geométrica, composición) y su capacidad de absorción, reflexión y transmisión del calor. Para este caso se desprecian los efectos convectivos del aire en el sistema, principalmente ya que es muy difícil determinar este tipo de transferencia de calor para sistemas donde no existen flujos de aire definidos y/o constantes. Además debido a la temperatura del aire (al menos 5 veces menor que la de la varilla) se esperaba que el aporte de la potencia térmica del sistema esté gobernada por la radiación electromagnética de calor producido por la varilla y no por el sistema convectivo del aire en medio del sensor y las varillas.

Para determinar la potencia de radiación térmica entre 2 superficies es necesario modificar la fórmula planteada en la ecuación (3.3) agregando el factor de forma y determinando la diferencia de temperaturas de las superficies, lo que nos permite calcular la potencia transmitida de una superficie a otra (P) en lugar de la radiación emitida (E), con la siguiente ecuación:

$$P_{i \rightarrow j} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot (T_i^4 - T_j^4) \cdot F_{ij} \quad (4.1)$$

El concepto de *factor de forma* el cual determina la fracción de radiación que sale de una superficie i y es interceptada por la superficie j.³ En este caso consiste en determinar cuanta

³ Incropera, Frank P., DeWitt, David P. “**Fundamentos de transferencia de calor**” 4ª edición. Prentice Hall. México, 1999. pags. 718-719

radiación del grupo de varillas (superficie i) es interceptada por el sensor (superficie j). El factor de forma se puede definir matemáticamente de la forma:

$$F_{ij} = \frac{1}{A_j} \iint \frac{\cos \theta_i \cos \theta_j}{\pi R^2} dA_i dA_j \quad (4.2)$$

donde:

A : Área de las superficies.

θ : Ángulo entre la normal de la superficie y la dirección de radiación.

R : Distancia de una superficie a otra.

En la figura 11 se muestra una aproximación (sin escala) del sistema planteado para el análisis, donde se supone al grupo de varillas en el transferidor de mantos como una superficie sólida de 6 metros de largo por 1 metro de ancho.

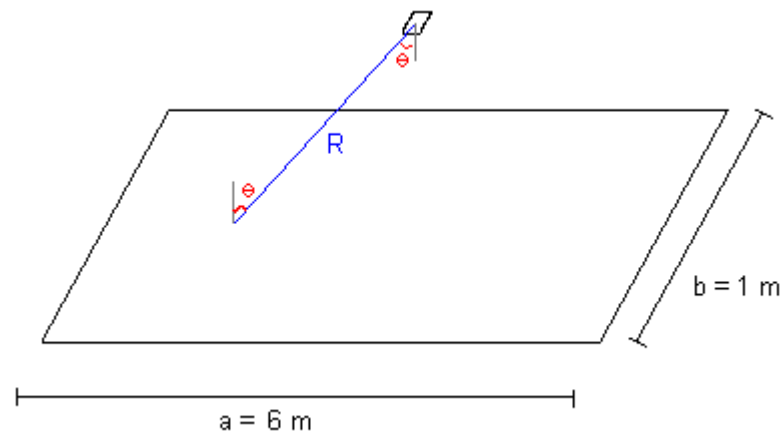


Figura 13. Arreglo geométrico supuesto para el análisis de la transferencia de calor.

En lugar del sensor inicialmente se estableció un área puntual como referencia, lo cual simplificaría el análisis y permitiría evaluar con posterioridad el aporte al conocer el área superficial del sensor escogido. Además los cálculos se realizaron para la distancia mínima recomendada de sensado del dispositivo de $L = 10$ cm. Debido a que la alineación de las áreas superficiales es paralela los ángulos θ_i y θ_j son iguales ($\cos \theta_i = \cos \theta_j$), aprovechando esta alineación y utilizando las relaciones trigonométricas se puede transformar la ecuación (4.2) a coordenadas rectangulares de la forma:

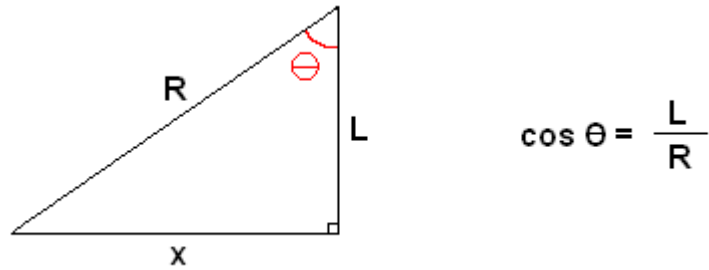


Figura 14. Relación de coordenadas cilíndricas a rectangulares.

Donde x depende de la posición a lo largo y ancho de la superficie 1, por lo que $x = a + b$ (ver figura 11), o también:

$$R^2 = L^2 + (a+b)^2 \quad (4.3)$$

$$\cos^2 \theta = \frac{L^2}{R^2} \quad (4.4)$$

Como se mencionó se supone el área 2 como un punto, lo que facilita el desarrollo de la integral y no tiene gran efecto sobre el resultado, por lo que la ecuación (4.2) se transforma en:

$$F = \frac{1}{A_1} \iint \frac{L^2}{\pi [L^2 + (a+b)^2]^2} da db \quad (4.5)$$

Sustituyendo el diferencial $dA_1 = da db$. Sacando los valores constantes de la integral y sustituyendo por las cantidades asignadas:

$$F_{1-2} = \frac{0.01}{(3.14) \cdot (6)} \int_0^6 \int_0^1 \frac{1}{[0.01 + (a+b)^2]^2} da db \quad (4.6)$$

Integrando:

$$F_{1-2} = 0.00053 \int_0^6 \left[8.72665 \tan^{-1}(10(a+1)) - 8.72665 \tan^{-1}(10a) + \frac{50(a+1)}{a^2 + 2a + 1.01} - \frac{50a}{a^2 + 0.01} \right] da \quad (4.7)$$

Integrando nuevamente se determina que:

$$F_{1-2} = 0.02641$$

Una vez obtenido el valor del factor de forma (F_{1-2}) se puede proceder a calcular la potencia térmica que se transmite del grupo de varillas al sensor. Para esto se sustituyen los valores en la ecuación (4.1).

$$P_{i-j} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot (T_i^4 - T_j^4) \cdot F_{ij} \quad (4.1)$$

Donde:

$\varepsilon = 0.95$: Emisividad del acero ⁴
$\sigma = 5.67 \times 10^{-8}$	W/m ² K ⁴	: Cte. Stefan-Baltzmanm
$T_i = 635.2$	K	: Temperatura de la varilla
$T_j = 306.2$	K	: Temperatura del aire
$F_{ij} = 0.02641$	m ²	: Factor de forma

$$P_{1-2} = 219.08 \text{ W}$$

De esta manera se obtiene una relación de la potencia térmica que se transmite desde las varillas agrupadas (superficie 1) y cualquier superficie ubicada a 10 cm por encima o por debajo de esté.

Esté es un potencial considerable, si hacemos una comparación con los bombillos incandescentes de uso común en los hogares, cuyo filamento convierte la mayor parte de la energía eléctrica en calor, incluida la luz visible que es una forma de irradiación de calor a una longitud de onda perceptible al ojo humano, tenemos que la energía que se trasfiere del grupo de varillas a un objeto a 10 cm de distancia es superior a la potencia que disipan dos bombillos de 100 W, además quien haya cambiado uno de estos bombillos tiene una idea de las temperaturas que llegan a alcanzar después del poco tiempo de estar funcionando.

⁴ "Table of Emissivity of Various Surfaces For Infrared Thermometry" Mikron Instrument Company.

Para poder determinar el aumento de temperatura provocado sobre cualquier superficie, incluido el posible sensor, es necesario utilizar la ecuación (3.4), para ello se debe conocer el calor específico de los materiales que componen la superficie, por lo que estos cálculos se retomarán al analizar los posibles sensores.

Una vez escogido el sensor, como se explica en la sección 5.1, se pudieron finalizar los cálculos para determinar la transferencia de calor de las varillas al sensor. Para esto se retoma la ecuación (3.4), pero se modifica para que la diferencia de temperaturas (ΔT) se convierta en la variable a despejar, esto se hizo para poder determinar la velocidad del cambio de temperatura en el sensor y de esta manera conocer si podrá funcionar en el campo.

Ahora el sensor WT24-2B440 posee una cubierta de cerámica con recubrimiento de zinc, como parte de la protección de fabrica, por lo que se estima que la parte más sensible a la temperatura serían los lentes y vidrios que permiten la emisión-recepción del haz de luz láser. Se uso un valor para el calor específico⁵ del vidrio de $C_p = 840 \text{ J / kg} \cdot \text{K}$.

$$q = m \cdot C_p \cdot \Delta T \quad (4.8)$$

Se puede observar vemos que la ecuación (4.8) es la misma (3.4), pero asumimos la diferencia de temperaturas como el ΔT . La masa total del sensor es de 0.33 kg, según las hojas de datos del fabricante. Al despejar ΔT en la ecuación (4.8) nos queda un valor en unidades de K / s, que corresponde a los grados centígrados que se agregarían al sensor al recibir una potencia de $P_{1-2} = 219.08 \text{ W}$, como se calculó a partir de la ecuación (4.1). También se debe tener en cuenta que este valor corresponde únicamente a la variación de temperatura debida a la radiación térmica de la varilla.

⁵ Tabla :“Capacidades caloríficas de algunas sustancias”, Resnick, R., Halliday, D., S. Krane, K. “**Física Vol. 1**”. 4º Edición, 3º en español. Compañía Editorial Continental, S.A. de C.V. México, 1997. página. 610.

De la ecuación (4.8), si:

- $q = 219.08$ W
- $m = 0.33$ kg
- $C_p = 840$ J / kg • K

$$\Delta T = 0.79 \text{ K / s}$$

Lo cual indica que la transferencia de radiación térmica produce una gran variación de temperatura en el sensor. Eso sí, al tomar en cuenta que el efecto convectivo de las corrientes de aire alrededor del sensor, debido a que la temperatura ambiente ronda los 32 °C (305.15 K), permitirá un intercambio de calor que disminuiría esa velocidad de variación de temperatura en el sensor, aún así se hace necesario utilizar otros métodos de disipación de calor para impedir dañar el sensor. También se debe tomar en cuenta que la operación normal del sensor produce calor como resultado de la conversión de energía eléctrica en energía térmica. Según los datos del fabricante⁶ el sensor consume una corriente máxima de 100 mA y trabaja a 24 V dc, para una potencia de 2.4 W. Si toda esa potencia se transformara en calor, según la ecuación (4.8) el aumento en la temperatura correspondería a:

- $q = 2.4$ W
- $m = 0.33$ kg
- $C_p = 840$ J / kg • K

$$\Delta T = 0.0086 \text{ K / s}$$

⁶ Sick Opto-Electronic, S.A. “**Sensick, Sensores Industriales**” Catálogo de Producto, España 2004.

5.1 Análisis de soluciones y selección final

Se analizaron varios manuales de fabricantes de sensores y se realizaron algunas entrevistas con ingenieros de experiencia en el campo⁷. Se descartó el uso de sensores inductivos y capacitivos debido a que dichos sensores tiene un rango de detección de unos pocos centímetros lo que los acerca mucha a la varilla, de los sensores investigados no se encontró ninguno capaz de soportar temperaturas superiores a los 250 °C, e inclusive aquellos que soportan temperaturas cercanas a este valor no tiene la precisión adecuada para determinar el paso de una varilla de 9.6 mm (como es el caso de la varilla número 3) de grosor cuando esta viene separada por unos pocos milímetros de la que le sigue o antecede en el transferidor. Esto en gran medida a que estos sensores presentan una amplia superficie de detección, lo que obligaría a separar la varilla en varios centímetros, lo cual es sumamente difícil lograr dadas las condiciones del sistema. Se examinó la posibilidad de utilizar un sensor muy puntal de temperatura, pero los sensores analizados presentaban tiempos de respuesta en el orden de 30 ms para los más rápidos, descartándolos por este aspecto. La selección se redujo a la utilización de sensores fotoeléctricos, ya que estos pueden estar a distancias mayores que los de tipo inductivo y capacitivo, donde la temperatura podría ser menor a la que se presenta en las cercanías de la varilla, además estos sensores pueden ser calibrados para determinar su distancia de detección y el ancho del objeto a detectar, haciéndolos idóneos para el trabajo, además que presenta un tiempo de respuesta mucho mayor a los sensores de temperatura analizados.

Se determinó que lo ideal sería un sensor que utilizará el principio de medición conocido como difuso, ya que estos modelos ocupan de menos componentes para su funcionamiento que los de tipo haz de luz, que ocupa de un emisor y un receptor ubicados en contraposición, y los de tipo reflectivo que ocupan de una superficie reflectora. La elección del sensor se disminuyo a 2 opciones de sensores reflectivos difusos: el WT24-2B440 y el WLL260-F440, ambos fabricados pos SICK. Aunque ambos sensores utilizan el mismo principio de medición sus características físicas son diferentes.

⁷ Esto se detalla en el apartado 4.4 "Implementación de la solución".

El sensor WLL260-F440 es un sensor de carcasa plástica diseñado para una temperatura ambiente de -25° a 55° C, que viene con una extensión de cable de fibra óptica para el haz de luz láser, la cual soporta hasta 300° C. Es un sensor muy puntual con un rango máximo de medición de 9 cm. En el caso del WT24-2B440 es un sensor de la categoría para ambientes hostiles, el cual soporta una temperatura de entre -40° y 75° C, además de que cuenta con protecciones para polvo, humedad, golpes y con aditamentos adicionales para mejorar los sistemas de protección. Se realizaron pruebas con ambos sensores y se determinó que el sensor WLL260-F440 debido a su rango de alcance debe de estar muy cerca de la varilla (aproximadamente 1 cm) para poder determinar su paso, en cambio el sensor WT24-2B440 viene con una carcasa cerámica con recubrimiento de Zinc, además de traer la opción de adaptarle un sistema de disipación de calor por medio de agua. Otra característica importante es la capacidad de ajustar la ganancia del sensor, lo que permite ajustar el haz del láser de manera que detecte a mayor distancia con menor precisión o menor distancia con mayor precisión.

También era necesario determinar las interfaces de comunicación humano-máquina, las cuales permiten al operario interactuar con el mecanismo de control y conocer el estado del sistema. Para la puesta en marcha se presentaron varias opciones como pantallas de mensaje de texto, teclados alfanuméricos y señales de alarma. Muchos de estos dispositivos fueron cotizados y podrían formar parte de la implementación final del sistema, pero la jefatura de la empresa estimó suficiente para la implementación inicial el instalar una pantalla sensible al tacto, que fuera utilizada para cambiar parámetro e indicar la cuenta y otros valores. Esto surgió debido principalmente a que la compañía contaba con ese tipo de pantallas dentro del inventario de repuestos. Por lo tanto la interfaz con los operarios se implementó con una pantalla Magelis XBTF034110 fabricada por Schneider Electric S.A.. Además de esto se incorporaron 2 señales luminosas para informar a los operarios del paso de un manto completo y al completarse el número de mantos que conforman un paquete, se realizó la programación de la pantalla por medio del software del fabricante XBT-L1000 versión 3.8.

En el caso del CPU se analizaron 3 alternativas para la implementación del control:

1. PLC convencional: Esta solución planteaba la implementación de desarrollar todo el sistema de control a partir de un PLC de fácil obtención en el mercado local, que permitiera un menor tiempo de entrega del proveedor, presentará un precio razonable, contará con herramientas de desarrollo conocidas y fuera fácil de implementar en un sistema industrial de este tipo.
2. Tarjeta basada en microcontrolador PIC: Planteaba el desarrollo de un circuito impreso, cuya arquitectura se basará en los microcontroladores programables PICs. La ventaja de implementar este tipo de sistemas es la economía de sus componentes y la posibilidad de diseñar un dispositivo que se adecuará a las necesidades específicas del problema. Las desventajas radican en el mayor tiempo de desarrollo necesario para su implementación y que probablemente requeriría de un mayor número de pruebas en comparación con los sistemas de control industriales en el mercado. En todo caso se presentó un esquema preliminar de lo que podría ser el circuito esquemático de esta solución, la cual aparece en la figura 15. En el esquema se presenta una base para la realización de un sistema de control implementado con un PIC16F877 fabricado por Microchip, además del controlador programable es necesaria la separación galvánica y conversión de señales de 24 a 5 V y viceversa, ya que el controlador actúa con señales de 5 Voltios y la planta con señales de 24 V.

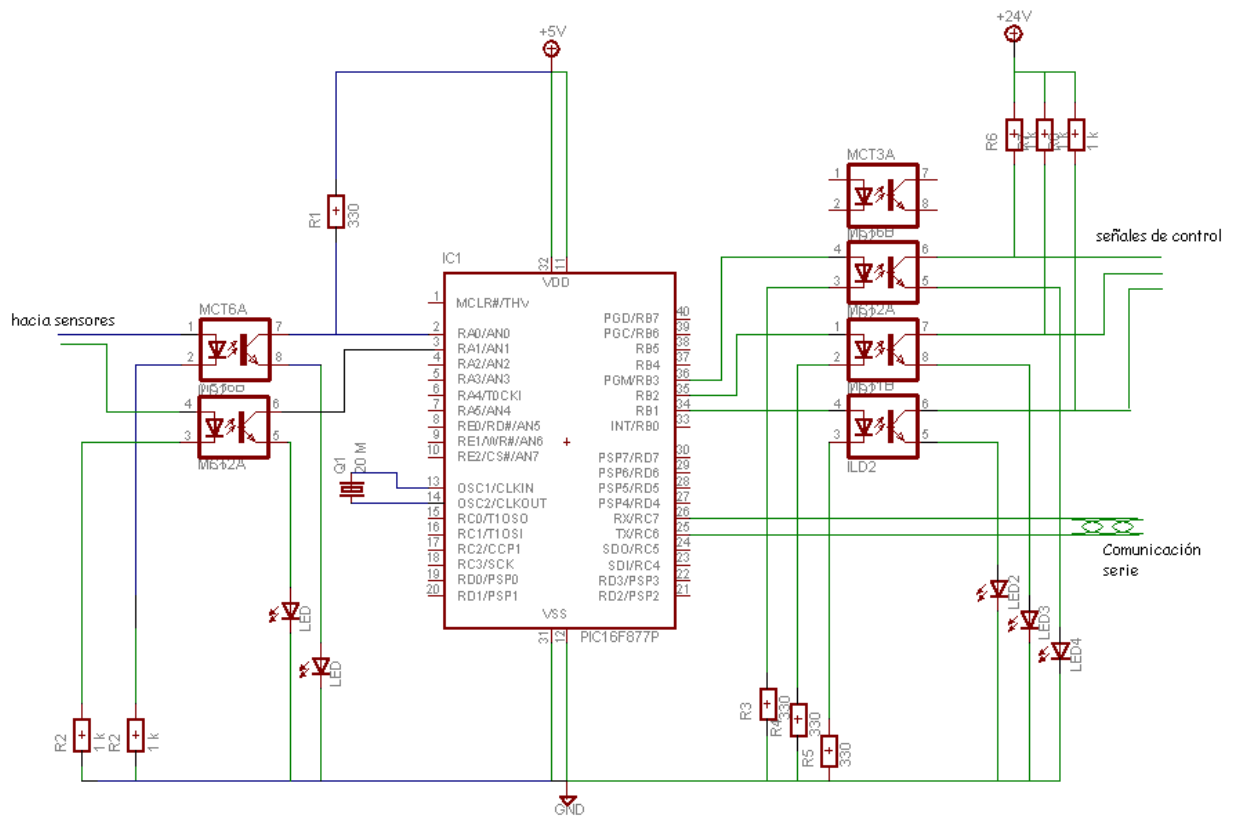


Figura 15. Circuito esquemático de posible solución planteada con un microcontrolador PIC.

3. Controlador de procesos SISTEAM: Esta solución se planteó ya que se implementaría un sistema de control de la misma arquitectura de la de los sistemas ya instalados, facilitando las rutinas de comunicación e implementación física. Además debido a que la empresa cuenta con cierta cantidad de repuestos en bodega de estos sistemas, no incurriría en gastos adicionales para la instalación del sistema de control y no habría que esperar por la entrega de componentes de los proveedores, ganando algunas semanas de trabajo.

En este caso se seleccionó utilizar el sistema de automatización o controlador de procesos SISTEAM A. Este sistema se encuentra actualmente instalado como sistema de control para la planta de tratamiento de aguas de la empresa. Es un sistema de completa compatibilidad con el SISTEAM M que es el sistema de control de procesos instalado en Laminadora Costarricense S.A. Esta selección tuvo como impulso más grande el hecho de que la empresa contara con el equipo necesario para armar e instalar el sistema en inventario de

bodega, lo que permitió a la compañía ahorrar al no tener que invertir en comprar equipo nuevo, a la vez que se establece con esta solución la garantía de compatibilidad con los demás sistemas instalados.

Lo importante es que el SISTEAM A cumple con todas las necesidades en cuanto al manejo de señales, protocolos de comunicación (Modbus, comunicación Ethernet y bus CAN para conexión con el sistema central) y versatilidad planteados en los objetivos del proyecto, lo cual lo hace por sí mismo una buena opción para el desarrollo de aplicaciones como las planteadas por este proyecto.

5.2 Descripción del hardware

Lo primero fue investigar la conexión de los dispositivos, El SISTEAM A es un sistema modular interconectado mediante dos tipos de enlaces: el primero es de tipo local y se basa en un bus propietario TMX, y otro de tipo distribuido (para interconectar módulos locales) construido alrededor del bus estándar CAN. Para la aplicación desarrollada no sería necesario más que una base para conexión local TMX que tiene capacidad para 8 módulos de entrada/salida además del un módulo procesador para controlar el sistema y una fuente de alimentación. Este bus no utiliza panel trasero como es usual en sistemas modulares de similar diseño, sino que un pequeño circuito impreso, provisto de dos conectores hembra, conecta cada módulo con el siguiente. Cada módulo tiene dos conectores macho, uno para el módulo precedente y otro para el módulo siguiente. La forma de conexión de cada módulo en el bus TMX se muestra en la figura 16.

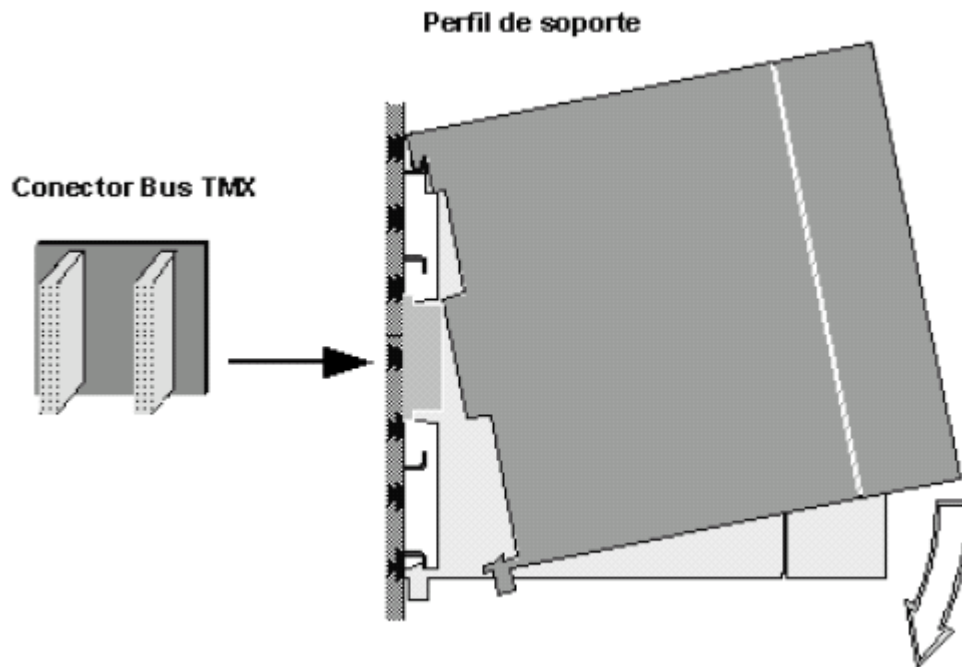


Figura 16. Conector del bus TMX y colocación del módulo en el soporte⁸.

Ingelectric-Team, empresa fabricante del SISTEAM A, ofrece varios tipos de fuentes así como de módulos procesadores y módulos de entrada-salida, aunque la mayoría presentan una estructura muy similar, con pequeñas variaciones entre los modelos. A continuación se esbozan las principales características de los módulos utilizados en la solución.

Como se mencionó anteriormente cada soporte necesita de su propia fuente de alimentación. Esta fuente se debe colocar de primera a la izquierda del panel o soporte metálico que incluye el bus TMX. Esta fuente se alimenta a su vez de un voltaje 220 V en corriente alterna y genera el voltaje de 24 V en corriente directa para el módulo procesador y el bus TMX, donde esta disponible para los demás módulos de entrada-salida. El modelo de la fuente utilizada es el BH2002. Entre sus principales características están:

- Aislamiento galvánico entre la entrada y la salida de 2500 V ac.

⁸ Tomado de: TEAM S. L. “**Manual de hardware SISTEAM A**”. Revision B. 2002

- Consumo máximo de potencia de 43 W.
- Corriente de entrada típica de 0.35 A a 200 V ac.
- Tensión de salida 24 V \pm 2% dc.
- Intensidad máxima de salida 1.3 A.
- Peso 350 g.

El procesador general utilizado es el modelo BH2101, este módulo está basado en un microcontrolador Intel i386EX de 32 bit con una frecuencia de reloj de 32 MHz. Esto le brinda adecuada potencia de ejecución y de direccionamiento tanto de espacio de memoria como del manejo entradas-salidas, por lo que está capacitado para los requerimientos de las tareas planteadas en el proyecto. La estructura de software para este módulo se basa en un sistema operativo diseñado por el mismo fabricante, que asegura aprovechar al máximo los recursos hardware del mismo, está especialmente diseñado para aplicaciones en tiempo real. Este módulo contiene 2 grandes bloques funcionales: uno de control y otro de comunicaciones, los cuales interactúan por medio de una memoria RAM compartida y accionada por medio de dos líneas dedicadas de interrupción, como se muestra en la figura 17.

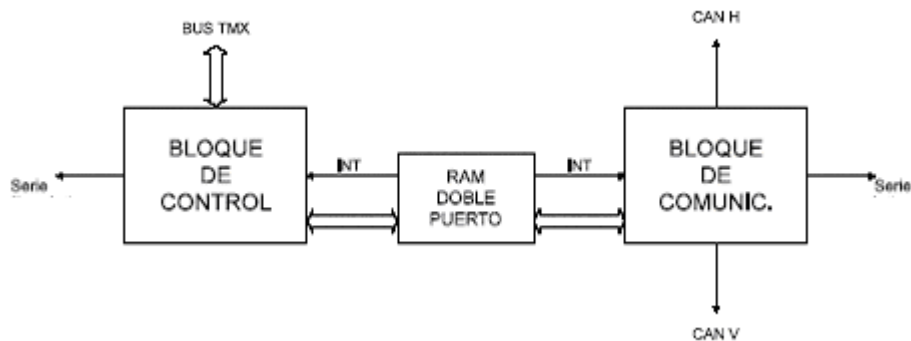


Figura 17. Diagrama de bloques del módulo BH2101⁹.

El bloque de control maneja y genera las señales de control y temporizado necesarios, además de un bus interno que maneja los bloques de memoria de trabajo: una RAM estática de 256 kB y un bloque de memoria flash de 1 MB (que contiene el sistema operativo y los

⁹ Tomado de: TEAM S. L. “**Manual de hardware SISTEAM A**”. Revision B. 2002.

programas de aplicación) y también controla la interfaz del bus TMX que permite la comunicación con los bloques de entrada-salida.

El bloque de comunicación esta gobernado por un microprocesador SIEMENS C161 de 16 bits y un reloj de 16 MHz. Este procesador se encarga de manejar una UART de propósito general conectada a una interface RS-232 y dos controladores para bus CAN, el cual se utiliza para comunicar el sistema con otros procesadores generales conectados al bus o cualquier otro dispositivo con interface CAN.

Entre las principales características del módulo están:

- Microprocesador principal 80386 EX (32 bits y 32 MHz), procesador auxiliar de comunicación SIEMENS C161 (16 bits y 16 MHz).
- Memoria flash interna de 1 MB, ampliable mediante tarjeta PCMCIA de 2 MB.
- Memoria RAM de 256 kB (128 kB para el sistema operativo y 128 kB para variables del usuario).
- Batería de litio de 3V, como respaldo para la RAM.
- Interfaces TMX en la parte posterior, además de 2 puertos (conector sub-D 9, macho) para bus CAN y 2 puertos RS-232 (conector sub-D 9, hembra) en la parte frontal.
- Tensión de alimentación 24 V dc \pm 10%, consumo máximo de 265 mA.
- Separación galvánica entre puertos de comunicación y el resto del equipo de 2500 Vac.

Para manejar las entradas digitales se escogió el módulo BH2313, el cual tiene capacidad de manejar 16 entradas optoaisladas de 24 V dc con alimentación externa, señalizadas por medio de leds de indicación. Este módulo es una interface controlada por el módulo de proceso general por medio del bus TMX. En el caso de las salidas de control se utilizó el módulo BH2331. Cada módulo BH2331 puede controlar hasta 16 salidas digitales de 24 Vdc, alimentadas externamente. En el frontal de cada módulo hay leds que indican el estado de cada salida. Al igual que el módulo de entradas digitales este módulo se controla mediante el procesador del grupo por medio del bus TMX. El aislamiento galvánico entre la

salida y la circuitería interna del módulo se proporciona mediante acopladores y relés de estado sólido. Su valor es de 2,5 KV.

Como se mencionó en el capítulo anterior, el bloque de potencia se implementó con un variador de velocidad para motores asíncronos modelo Alvitar 31. Los datos técnicos del controlador de velocidad se enlistan en la tabla 6. Este variador de velocidad se incluyó para poder aumentar la velocidad del motor 2 de la figura 1 (zona 2 del transferidor de mantos), de manera que permitiera separar la varilla debido a la diferencia de velocidad con el motor de la zona 1. El motor que se controla es un motor trifásico de cuatro polos 1LA7133-1AA61 fabricado por SIEMENS, cuyo circuito equivalente se explica en el capítulo 3 y cuyos datos técnicos se presentan en las tablas 4 y 5 en el capítulo 4. El sistema se implementó en forma temporal para realizar pruebas que pudieran determinar si era posible realizar la separación adecuada de las varillas en el transferidor, por lo que por ahora no tiene comunicación con el control central, pero la opción de control por medio de comunicación Modbus o señales digitales es posible dadas las características del sistema.

Para determinar el paso de la varilla se utiliza el sensor WT24-2B440. Este sensor forma parte de la familia de sensores industriales para ambientes hostiles de la compañía SICK. Al sensor llega un cable trifilar el cual provee al mismo de la alimentación, la masa o tierra y le permite enviar la señal de salida al control central. Esta conexión se muestra en la figura 18, la línea de "TE" utiliza para probar el sensor y no esta conectada en este caso, L+ indica la entrada de tensión de 24 V dc, M la tierra y Q/Q* la salida.

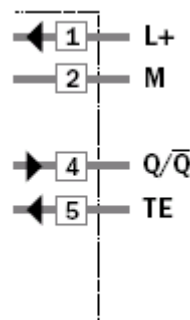


Figura 18. Indicación de las terminales de conexión del sensor WT24-2B440.

Además del sensor para el conteo de varilla (WT24-2B440) el sistema aprovechará los sensores ya instalados en la planta para realizar de forma eficiente su labor. Por esto se utilizarían las señales de 2 sensores inductivos que se localizan en la zona del trasferidor de mantos. Estos sensores BERO 3RG4142-6AD00 fabricados por Siemens se encontraban instalados de antemano al desarrollo del proyecto y permitían al PLC encargado de la zona de evacuación conocer si había varilla pasando tanto en la zona 1 como en la zona 2 del transferidor de mantos. También es importante utilizar otra de las entradas digitales ya instalada para el PLC de evacuación, la cual indica el movimiento de los motores, esta señal sirve de bandera para la activación del sensor fotoeléctrico, ya que este no debería contar si no existe movimiento en el trasferidor, de manera que se evite la activación del conteo cuando se están realizando labores de limpieza o mantenimiento.

5.3 Descripción del software

Para la programación del SISTEAM A se realiza a través de la herramienta de programación SISTEAM SERVICER, un software que corre bajo sistema operativo Windows NT y permite el desarrollo de aplicaciones y posterior envío al autómatas, así como opciones para realizar funciones de monitoreo de la ejecución.

Los algoritmos de control para el sistema no requieren de un gran poder de cálculo debido a que se basan principalmente en la monitorización de variables, evaluación de condiciones y ejecución de acciones, estas últimas en su mayor parte son funciones de comunicación o señales digitales para la activación de mecanismos o señalizaciones.

El Sisteam Servicer es un software muy estructurado, cada módulo procesador asignado a una ejecución puede ejecutar un máximo de 5 tareas y cada tarea a su vez se subdivide en hasta un máximo de 256 rutinas. En este caso solo existe un módulo procesador y para la solución solo fue necesario implementar una tarea, que a su vez se dividió en 3 subrutinas: la primera para la inicialización del puerto serie, otra para el programa de conteo y la tercera para la igualación de memoria con pantalla táctil. El programador debe de indicarle al sistema operativo del módulo controlador el orden en que se desea se ejecuten las rutinas, este orden se visualiza en la figura 19.

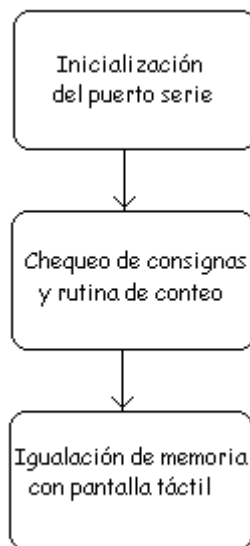


Figura 19. Orden de ejecución de rutinas de la tarea.

La primera rutina, indicada en la figura 19 como: “Inicialización del puerto serie”, se encarga de activar la lógica que permite la comunicación Modbus del autómatas SISTEAM A con la pantalla táctil Magelis, esta rutina activa el puerto de comunicación y carga los parámetros establecidos para el protocolo. Para la aplicación la pantalla táctil se configuró como maestro ya que esta es la encargada de controlar los parámetros de configuración de conteo y de recibir la información del autómatas. Por esto la rutina de inicialización de puerto serie se configura en forma de esclavo (de la red, en este caso punto a punto). Los parámetros de configuración fueron: velocidad 19200 baudios, paridad par y modo de transmisión de datos RTU de 8 bits.

La segunda rutina se podría decir que encierra el manejo de las señales de campo como sensores, y realiza la lógica del conteo. Establece las condiciones para las cuales se realizará el conteo además de asignar el número de varillas que conformará cada manto y cada paquete según lo haya establecido el operador desde la pantalla táctil. Un diagrama de flujo general de esta rutina se muestra en la figura 20.

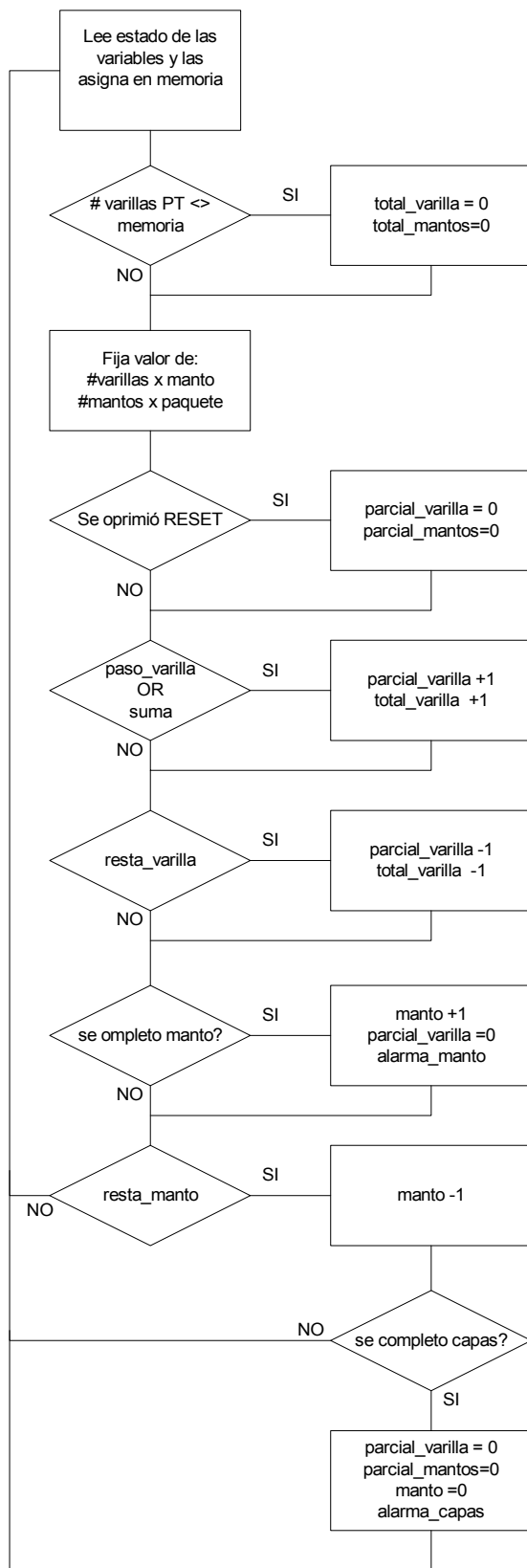


Figura 20. Diagrama de flujo de la rutina para el conteo de la varilla en el transferidor de mantos.

A grandes rasgos la rutina recibe de la interface humano-máquina la información del tipo de varilla en producción, al inicio el programa pregunta si se ha cambiado el tipo de varilla, de ser así pone todos los contadores en cero y carga los datos del número de varillas que conformaran cada manto y la cantidad de mantos que contiene cada paquete. Estos datos se manejan como constantes del programa y varían dependiendo del tipo de varilla en producción según se muestra en la tabla 1. Luego el programa evalúa si se presentó el paso de varilla o si el operador oprimió las teclas para sumar o restar varillas o mantos.

Paralelo a esta rutina se ejecuta una subrutina que evalúa el tiempo de paso de cada varilla, para que el programa sea capaz de reconocer si el pulso es más ancho del esperado debe de aumentar el contador dependiendo del tiempo de duración de paso y del tipo de varilla. Este efecto se observa en la figura 12, donde uno de los pulsos de mayor duración indica el paso de 2 varillas en lugar de 1. El diagrama de flujo para esta subrutina se presenta en la figura 21.

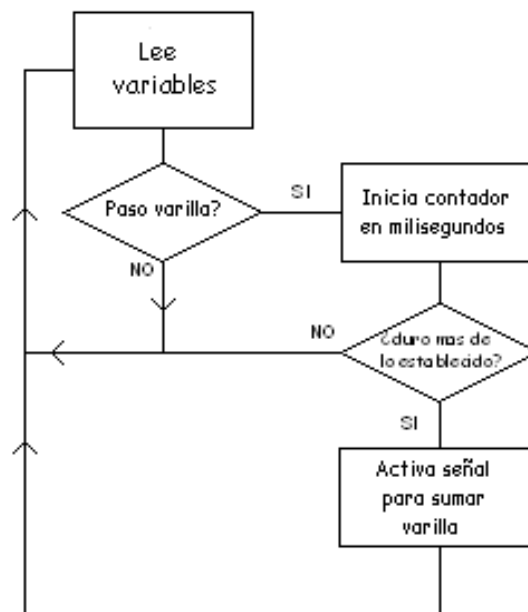


Figura 21. Diagrama de flujo de subrutina que determina la suma de varilla dependiendo del ancho de pulso de la señal.

Esta subrutina se programó para un máximo de 5 varillas, esto porque lo que se desea lograr es separar adecuadamente la varilla y no deberían existir grupos extensos de varillas agrupadas, los tiempos se calcularon en base al análisis de graficas obtenidas a la salida del sensor con un osciloscopio, y se fijaron 24 ms para el paso de 2 varillas, 40 ms en el caso de tres, 56 ms con cuatro y 74 ms para el paso de cinco varillas. Se debe tomar en cuenta que una sola varilla dura pasando unos 18 ms, pero se dejaron tiempos mayores para prevenir errores de conteo debido al gran movimiento que presentan las varillas la pasar sobre el sensor, lo que podría ocasionar que esos tiempos varíen.

La tercera rutina del programa realiza una igualación de datos de memoria para copiar los datos en la Magelis, en otras palabras realiza una asignación de memoria para copiar las variables utilizadas por el proceso de la memoria de trabajo a una zona de memoria donde pueden ser leídas por la pantalla táctil. Para realizar esta rutina se debió analizar la forma de manejo de memoria de cada dispositivo.

En el caso de la Magelis se utilizó el software XBT-L1000 version 3.80 para Windows, que es la herramienta de programación brindada por el fabricante; Schneider Electric S.A. Este software es completamente gráfico y orientado a objetos, lo que facilita la configuración de las características de las diferentes aplicaciones como zonas táctiles o indicadores.

Capítulo 6: Análisis de Resultados

6.1 Resultados

Como se expone en el capítulo 4 el proceso de transferencia de calor del sistema, despreciando los efectos convectivos del aire podría llegar a producir un aumento de temperatura del sensor de cerca de 0.8 K / s, este valor podría ser mayor si se suman, a los cálculos de la energía térmica producida por la varilla caliente, los de la energía eléctrica disipada por el sensor en forma de calor producidos por el funcionamiento normal del dispositivo.

En el caso del control de velocidad del motor trifásico 1LA7133-1AA61 por medio del variador de velocidad Altivar 31, se realizaron pruebas para determinar la velocidad del mismo y al nivel de separación que se alcanzaba para las varillas. En el caso de la separación de varillas es un factor difícil de medir, ya que depende del arrastre de las cadenas, la forma en que se acomodan las varillas a la entrada del trasferidor de mantos, el largo de la varilla y la deformación que pudiera presentar esta. Pero la velocidad del motor se pudo determinar por medio de un tacómetro óptico, los resultado se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 8. Relación de velocidad y frecuencia para el motor 1LA7133-1AA61.

Frecuencia (Hz)	Velocidad (rpm)
60	1762
150	4450
200	4711

Además antes de terminar de programar el sistema fue realizar pruebas con el sensor WT24-2B440, para establecer los tiempos de paso de cada varilla, un ejemplo de esto es la figura 12 donde se presenta una sección de dichas gráficas tomadas con el osciloscopio FLUKE 199C. La primera prueba se realizó pasando un grupo de 36 varillas y se tomaron gráficas que se muestran en las figuras 22 y 23. Estas gráficas se tomaron con el motor funcionando

a 200 Hz y se realizaron con varilla fría (varilla que ya se encontraba en bodega de producto terminado que se trajo para pruebas)

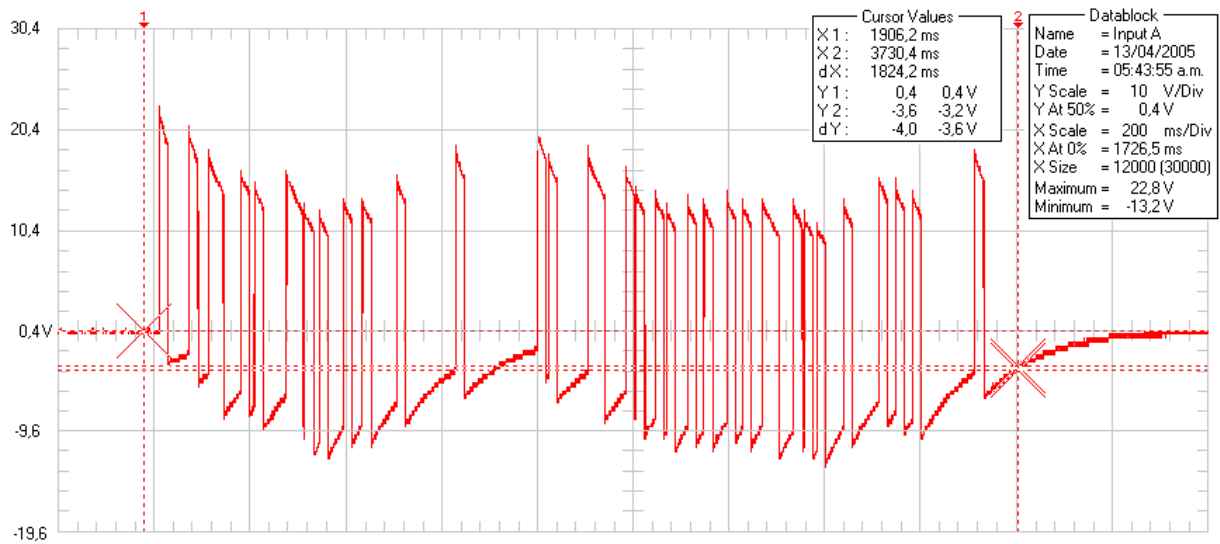


Figura 22. Gráfica de la señal de salida del sensor WT24-2B440, para varilla #, tomada el 13 de abril.

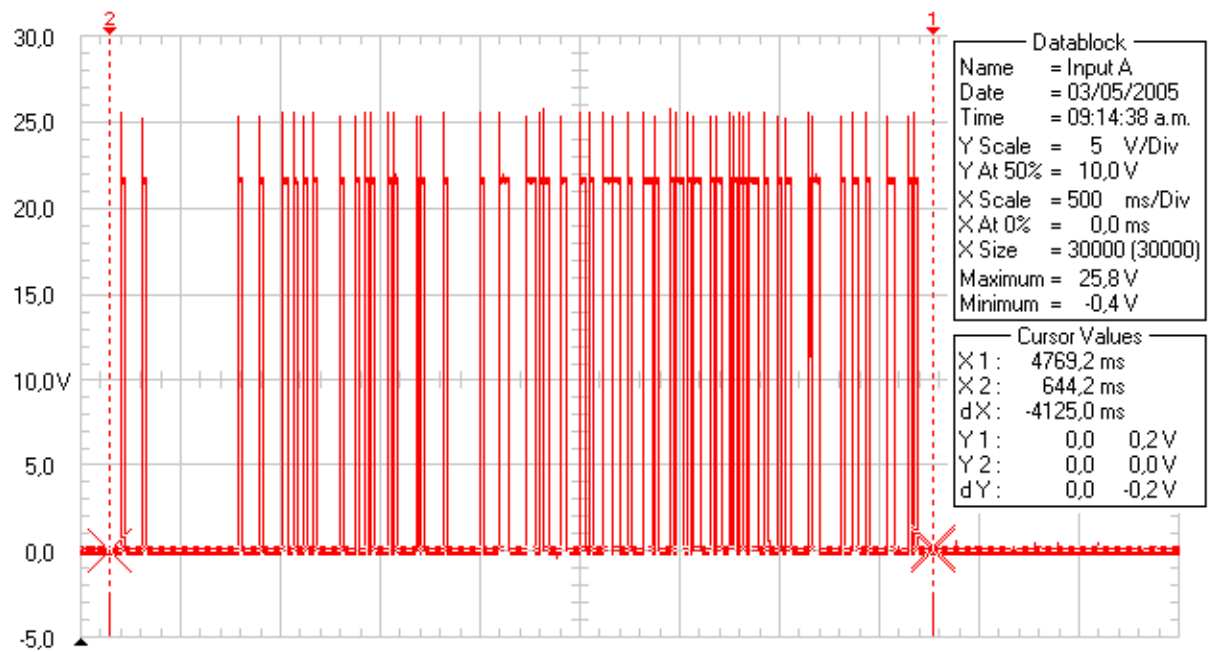


Figura 23. Gráfica de la señal de salida del sensor WT24-2B440, para varilla #3, tomadas el 3 de mayo.

En la figura 24 se muestra la menor diferencia de tiempo registrada entre 2 pulsos de las 2 gráficas anteriores. La duración entre los pulsos es de 2.2 ms y fue tomada de la gráfica de la figura 22. Mientras que en la figura 25 se puede observar el pulso más ancho obtenido en las mediciones, 52.8 ms.

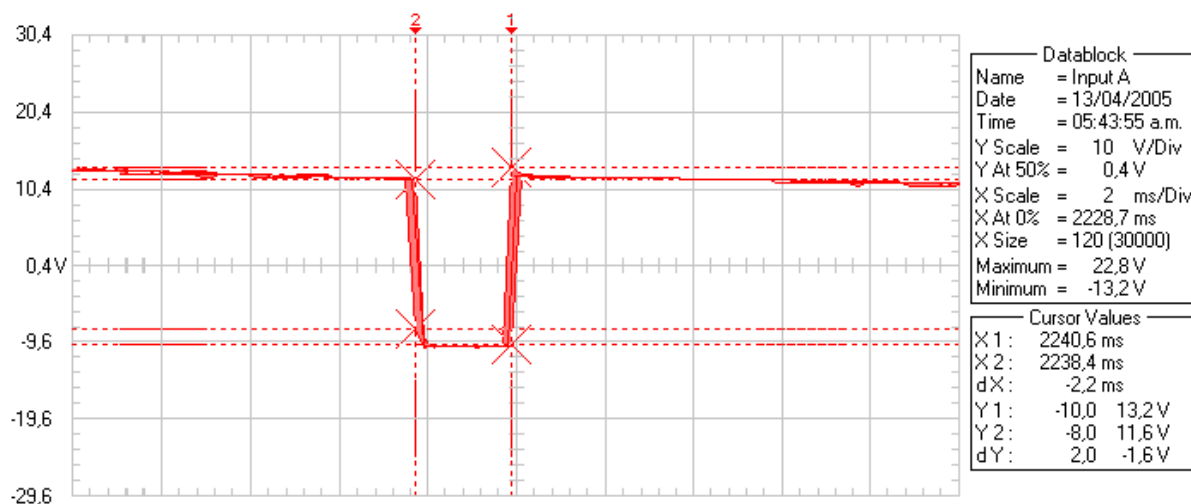


Figura 24. Gráfica de la mínima diferencia registrada entre 2 pulsos del sensor.

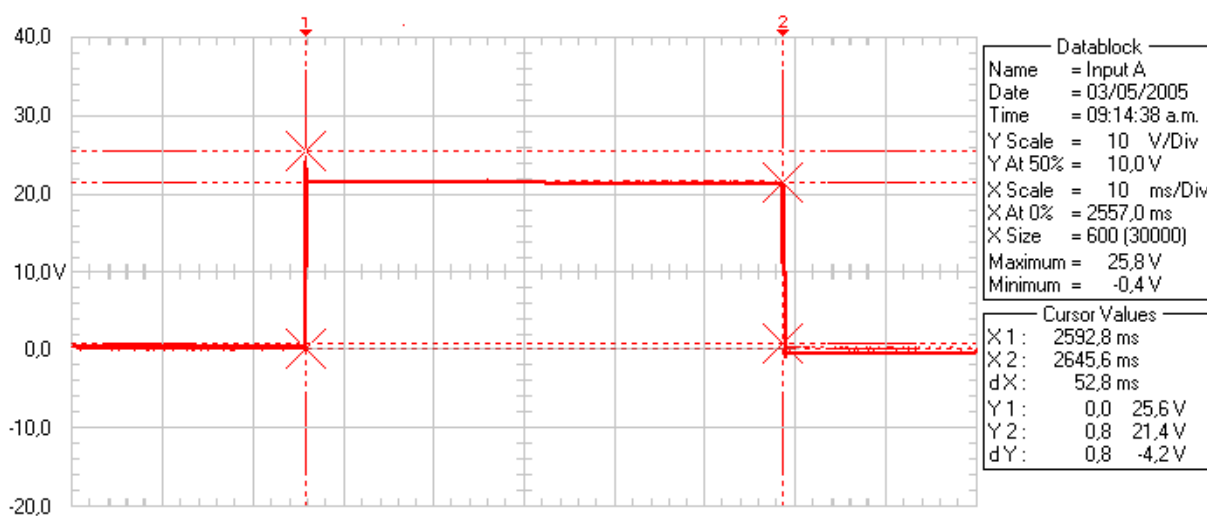


Figura 25. Gráfica del máximo pulsos registrado a la salida del sensor el 3 de mayo.

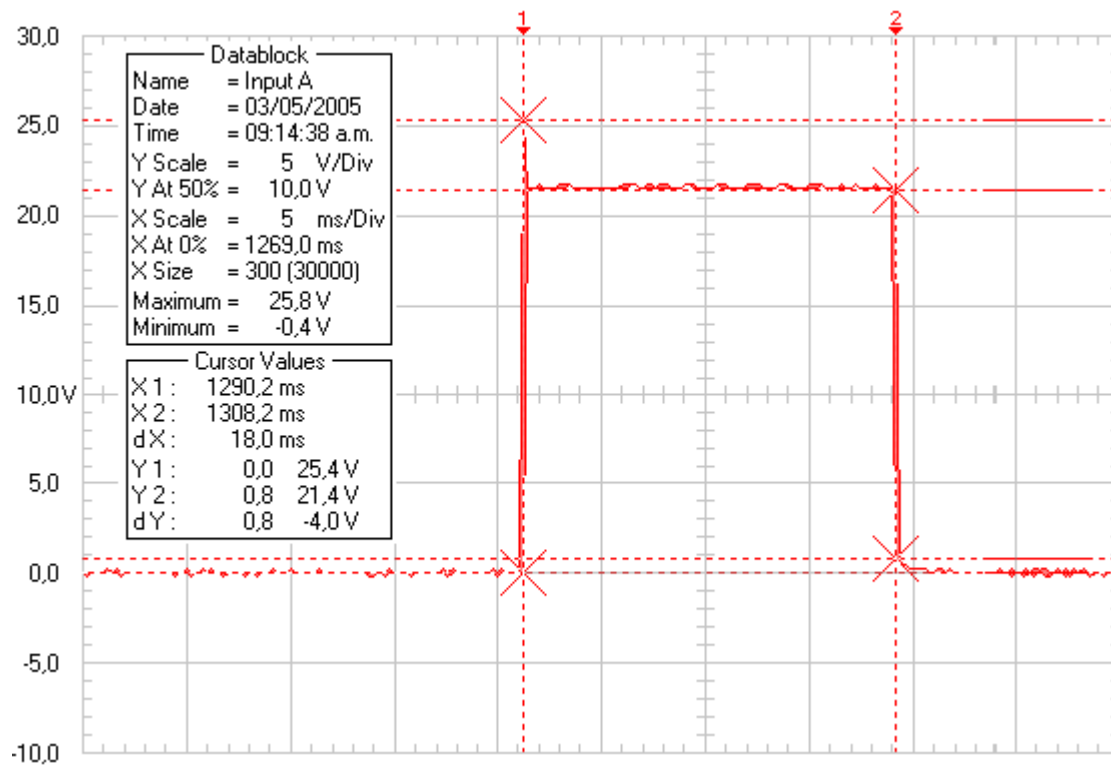


Figura 26. Gráfica de la salida del sensor al paso de una sola varilla.

El programa para las primeras mediciones que se muestran en las tablas 9, 10 y 11, únicamente determinaba el paso de la varilla por los pulsos obtenidos del sensor. Todas las pruebas realizadas y las mediciones con el osciloscopio se hicieron para la varilla número 3, debido a que esta varilla es la que presenta mayor problema, principalmente porque es la más delgada y la que agrupa mayor número de varillas por manto, lo que hace más difícil su separación y el posterior conteo. Además a de los datos de cada medición en las tablas se presenta información del error estimado para cada medición y para el conjunto de las mediciones realizadas.

No se pudieron realizar mediciones en producción normal debido a que al finalizar el proyecto todavía no se había instalado la tubería para el agua de enfriamiento del sensor y no era recomendable arriesgar el sensor a un daño por exceso de temperatura. Todas las mediciones del conteo se realizaron con varilla traída de la bodega de producto terminado, la cual se encuentra a temperatura ambiente.

Tabla 9. Resultado de pruebas para varilla # 3, realizadas el 12/05/2005, ajuste de ganancia del sensor en .23.

#	Cantidad de varillas	Conteo	Diferencia	Error
1	75	66	9	12%
2	75	64	11	15%
3	75	56	19	25%
4	75	61	14	19%
5	75	53	22	29%
6	75	55	20	27%
7	75	68	7	9%
8	75	66	9	12%
Total	600	489	111	19%
Promedio	75	61	14	19%
Mediana	75	63	13	17%
Moda	75	66	9	12%
Mínimo	75	53	7	9%
Máximo	75	68	22	29%
Rango	0	15	15	20%

Tabla 10. Resultado de pruebas para varilla # 3, realizadas el 17/05/2005, ajuste de ganancia del sensor en .18.

#	Cantidad de varillas	Conteo	Diferencia	Error
1	51	32	19	37%
2	50	42	8	16%
4	52	31	21	40%
5	52	45	7	13%
6	28	23	5	18%
7	28	19	9	32%
8	37	27	10	27%
9	37	30	7	19%
10	51	37	14	27%
11	51	38	13	25%
Total	437	324	113	26%
Promedio	44	32	11	26%
Mediana	51	32	10	19%
Moda	51	--	7	14%
Mínimo	28	19	5	18%
Máximo	52	45	21	40%
Rango	24	26	16	23%

Tabla 11. Resultado de pruebas para varilla # 3, realizadas el 17/05/2005, ajuste de ganancia del sensor en .15.

#	Cantidad de varillas	Conteo	Diferencia	Error
1	49	27	22	45%
2	44	33	11	25%
3	35	31	4	11%
4	35	27	8	23%
5	24	21	3	13%
6	24	16	8	33%
7	39	31	8	21%
8	55	30	25	45%
9	33	30	3	9%
10	51	41	10	20%
11	62	50	12	19%
12	57	35	22	39%
13	38	28	10	26%
14	63	44	19	30%
Total	609	444	165	27%
Promedio	44	32	12	27%
Mediana	42	31	10	24%
Moda	35	27	8	23%
Mínimo	24	16	3	13%
Máximo	63	50	25	40%
Rango	39	34	22	27%

En la tabla 12 se muestran los resultados que se obtuvieron al implementar al programa una modificación para que aumentara en 1 la suma del número de varillas si el ancho del pulso del sensor era mayor a 24 ms.

Tabla 12. Resultado de pruebas para varilla # 3, realizadas el 02/06/2005.

#	Cantidad de varillas	Conteo	Diferencia	Error
1	60	49	11	18%
2	60	52	8	13%
3	60	59	1	2%
4	60	60	0	0%
5	60	55	5	8%
6	60	55	5	8%
7	60	52	8	13%
8	53	52	1	2%
9	53	49	4	8%
10	53	48	5	9%
11	53	50	3	6%
12	53	52	1	2%
13	53	50	3	6%
14	53	49	4	8%
15	53	48	5	9%
16	53	50	3	6%
17	53	51	2	4%
18	51	47	4	8%
19	51	50	1	2%
20	51	51	0	0%
21	51	47	4	8%
22	50	47	3	6%
23	50	49	1	2%
24	50	45	5	10%
25	50	48	2	4%
Total	1354	1265	89	7%
Promedio	54	51	4	7%
Mediana	53	50	3	6%
Moda	53	49	1	2%
Mínimo	50	45	0	0%
Máximo	60	60	11	18%
Rango	10	15	11	18%

Se volvió a modificar el programa. Con esta modificación el programa suma una varilla si el pulso de mantiene por mas de 24 ms y suma además otra varilla si el pulso dura más de 40 ms, por lo que se espera que el programa determine el paso de hasta 3 varillas sin separación entre ellas.

Tabla 13. Resultado de pruebas para varilla # 3, realizadas el 13/06/2005.

#	Cantidad de varillas	Conteo	Diferencia	Error
1	75	73	2	3%
2	75	74	1	1%
3	75	75	0	0%
4	75	73	2	3%
5	75	71	4	5%
6	75	72	3	4%
7	75	75	0	0%
8	75	68	7	9%
9	75	70	5	7%
10	75	72	3	4%
11	75	72	3	4%
12	75	74	1	1%
13	75	75	0	0%
14	75	75	0	0%
15	75	74	1	1%
16	75	71	4	5%
17	75	62	13	17%
18	75	70	5	7%
19	75	75	0	0%
20	75	74	1	1%
21	75	74	1	1%
Total	1575	1519	56	4%
Promedio	75	72	3	4%
Mediana	75	73	2	3%
Moda	75	74	1	1%
Mínimo	75	62	0	0%
Máximo	75	75	13	17%
Rango	0	13	13	17%

Debido los resultados que se presentan en la tabla 13 se modificó nuevamente el programa para determinar por duración del ancho de pulso el paso de hasta 5 varillas, si estas pasaran sobre el sensor sin separación entre ellas, estos tiempos se definieron en 56 ms para 4 varillas y 74 ms para 5. Los resultados obtenidos después de la modificación se enlistan en la tabla 14. Estos tiempos se determinaron a partir de gráficas obtenidas con el osciloscopio, algunas de estas muestras se presentan en las figuras 12, 22, 23, 24, 25, 26, 27 y 28.

Tabla 14. Resultado de pruebas para varilla # 3, realizadas el 14/06/2005.

#	Cantidad de varillas	Conteo	Diferencia	Error
1	75	76	-1	-1%
2	75	75	0	0%
3	75	74	1	1%
4	75	75	0	0%
5	75	75	0	0%
6	75	74	1	1%
7	75	75	0	0%
8	75	75	0	0%
9	75	73	2	3%
10	75	75	0	0%
11	75	73	2	3%
12	75	74	1	1%
13	75	75	0	0%
14	75	75	0	0%
15	75	75	0	0%
16	75	75	0	0%
17	75	75	0	0%
18	75	73	2	3%
19	75	75	0	0%
20	75	74	1	1%
21	75	74	1	1%
22	75	73	2	3%
23	75	66	9	12%
24	75	75	0	0%
25	75	74	1	1%
26	75	75	0	0%
27	75	75	0	0%
28	75	74	1	1%
29	75	75	0	0%
30	75	73	2	3%
31	75	74	1	1%
32	75	75	0	0%
Total	2400	2374	26	1%
Promedio	75	74	1	1%
Mediana	75	75	0	0%
Moda	75	75	0	0%
Mínimo	75	66	-1	-1%
Máximo	75	76	9	12%
Rango	0	10	10	13%

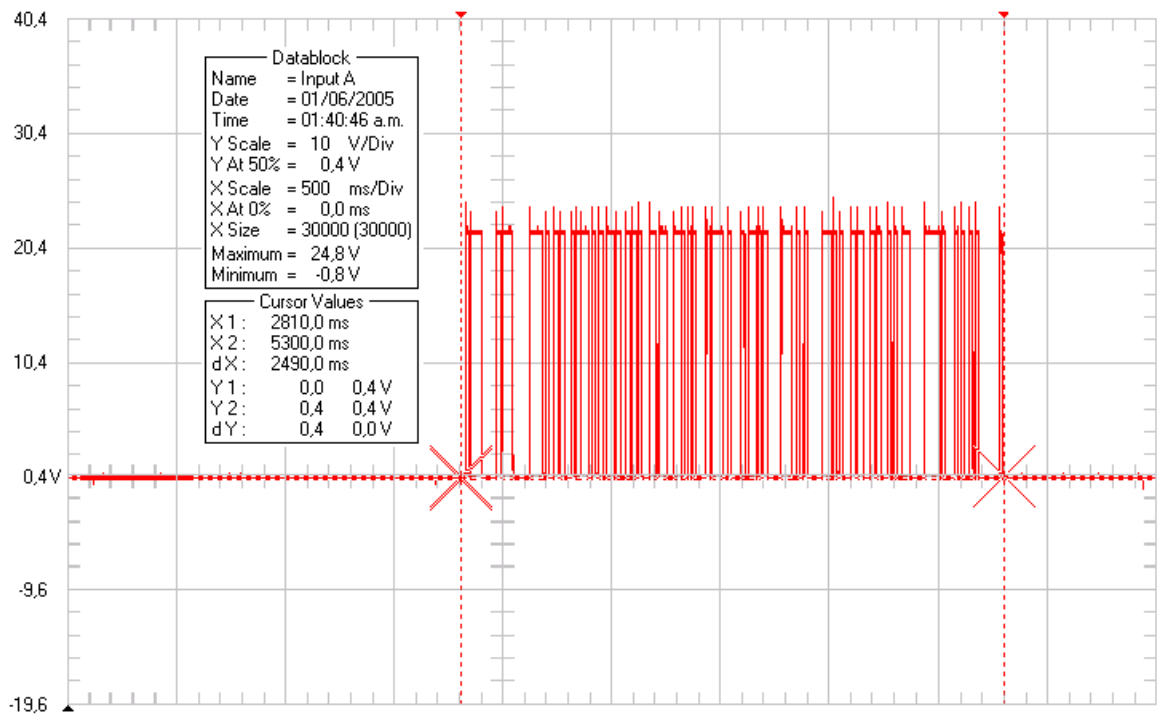


Figura 27. Gráfica de la salida del sensor para 75 varillas. Tomada el 14 de junio.

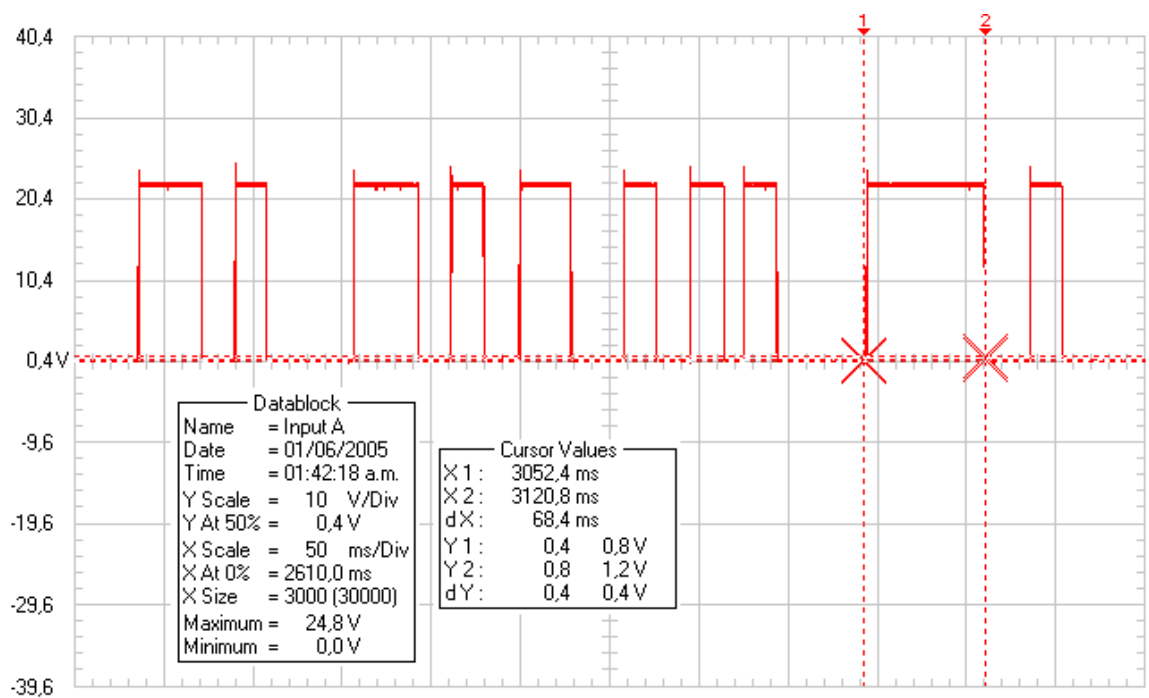


Figura 28. Gráfica de la salida del sensor donde se muestran pulsos de distintos anchos.

En las siguientes gráficas se muestra la evolución del error en las mediciones que se presentan en las tablas 9, 10, 11, 12, 13 y 14.

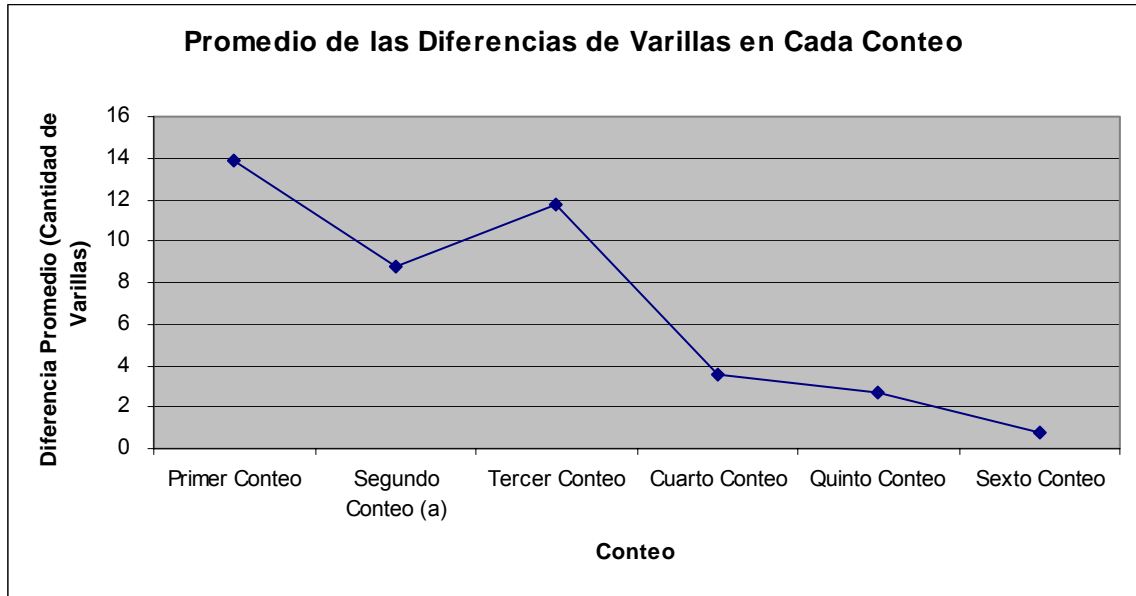


Figura 29. Promedio de la diferencia entre el número real y las mediciones realizadas.

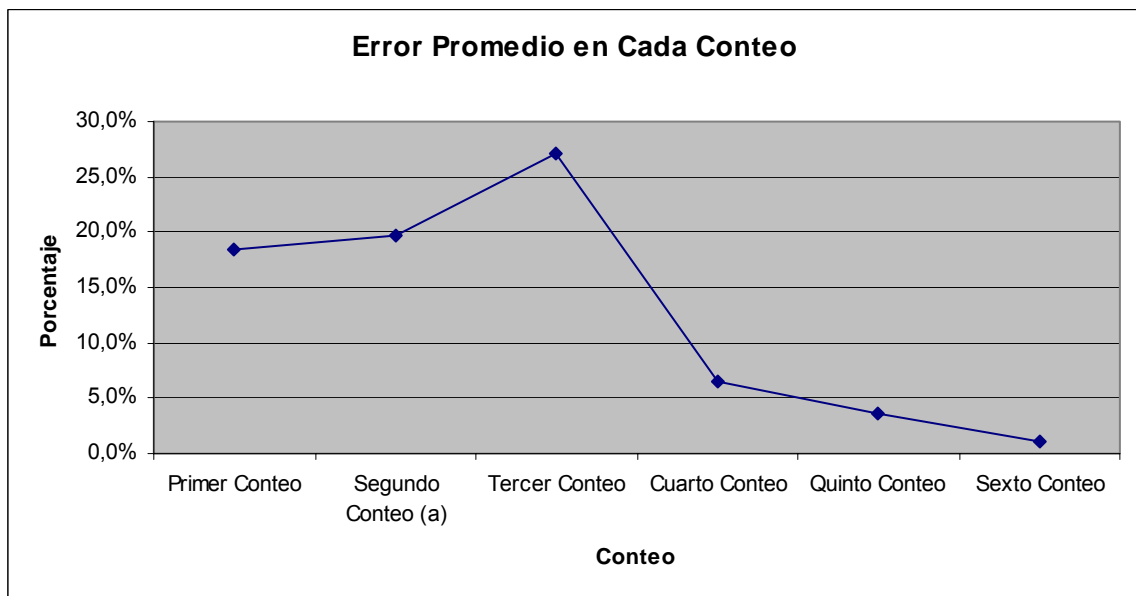


Figura 30. Error en cada medición.

En la figura 29 se graficaron el promedio de la diferencia entre el número de varillas que pasaron por el transferidor de mantos y la medición que realizó el sistema con respecto al orden de las mediciones realizadas.

En la figura 30 se presenta la gráfica de la evolución del error promedio para cada medición en el orden temporal en que fueron realizadas, la fuente se toma de los datos mostrados en las tablas desde la 9 hasta la 14.

Adicional a esto se realizaron pruebas para determinar que el sistema solo contara cuando el motor estuviera en marcha, y girando en la dirección de evacuación de la varilla. Estas pruebas resultaron positivas, lo que impide que el sistema permanezca contando aún cuando quede varilla activando la señal del sensor.

6.2 Análisis

La primera parte del proyecto se desarrolló en el estudio de las condiciones del ambiente, principalmente de la transferencia térmica del sistema y como éste podía afectar el desempeño de los sensores. En el capítulo 4 se muestra el desarrollo matemático que permitió establecer una tasa de aumento de temperatura para un sensor ubicado a 10 cm de las varillas en el transferidor de mantos. El valor obtenido, $\Delta T = 0.79 \text{ K / s}$, no toma en cuenta efectos disipativos que podría jugar la circulación de aire entre el grupo de varillas y el sensor, pero nos permite tener una idea de la gran cantidad de energía térmica que se transmite por radiación al sistema, $P = 219.08 \text{ W}$, además como se mencionó en el capítulo 4 también el sensor produce calor como resultado de su operación normal. Al observar la gráfica del paso de un manto de 75 varillas por el transferidor de mantos, que se muestra en la figura 27, se establece una duración de paso de las varillas de $V = 2.5 \text{ s}$, a una tasa de variación de calor de $\Delta T = 0.79 \text{ K / s}$, tenemos que el aumento de temperatura en ese lapso de tiempo llega a unos 2 K, además se debe tomar en cuenta que durante la producción de varilla la separación entre cada manto es muy poca, lo que hace poco probable que se disipe toda la energía térmica recibida por el sensor, esto ocasionaría una rampa ascendente en la temperatura del mismo. También la duración en el paso de un manto de varillas es muy variable como se observa al comparar la gráfica de la figura 27 con la de la figura 23, donde en esta última la duración del paso de todas las varillas es de cerca de 4 s.

Un aspecto importante es que todos los datos tomados y analizados durante la implementación de la solución correspondieron únicamente a varilla número 3, debido a que al ser la varilla más delgada y la que se agrupa en mayor número de unidades es la que presenta mayores dificultades de conteo, convirtiendo a este tipo de varilla en el caso crítico en cuanto a separación y determinación de las unidades.

Estos datos se calcularon para la máxima temperatura medida en la varilla en la zona del transferidor, que se tomó con varilla número 10, como se muestra en la tabla 2, el cual se acerca al valor máximo que se podría alcanzar ya que es una de las varillas más gruesas que se fabrica en la planta. Como se puede observar en la misma tabla los valores para varilla de 3/8 es menor, pero se tomó el caso más crítico para el análisis, garantizando de

esta manera el buen funcionamiento del sistema, aún así queda claramente establecida la necesidad de buscar alternativas para lograr una adecuada disipación de calor y de esta manera garantizar el funcionamiento del sensor. Por esto fue de gran importancia el aditamento incorporado en el sensor seleccionado para la solución, que permite la disipación de calor por medio de la circulación de agua.

En el caso de los motores se logró obtener una separación de las varillas al aumentar la velocidad del motor en la zona 2 del transferidor de mantos, con esta separación se pretendía lograr que el sensor pudiera determinar el paso de cada varilla por medio de un pulso en la señal de salida de este dispositivo. Como se observa en las figuras 25 y 28 esto no se logró, ya que la separación en algunos casos no llega a ser suficiente para que el sensor logre discriminar entre 2 varillas unidas o muy cercanas entre si. Aún así se logró mejorar la separación con este aumento de velocidad, ya que debido al proceso de fabricación las varillas tienden a pasar muy juntas o hasta mezcladas verticalmente como se muestra en el dibujo de la figura 1.

En la figura 26 se puede observar la duración del pulso producido por el sensor al paso de una varilla, este pulso tiene una duración de 18 ms, aunque este valor podía variar en cerca de ± 1 ms, debido a vibraciones de las cadenas a su paso por el transferidor. Si se tiene que el ancho de la varilla número 3 es de 9.5 mm, la velocidad de las cadenas se puede determinar por de la formula de velocidad:

$$V = d / t \quad (6.1)$$

$$V = 0.0095 / 0.018 = 0.52 \text{ m / s} \quad (6.2)$$

Esta velocidad se obtuvo aplicando una frecuencia de 200 Hz al motor, que a esta frecuencia presenta una velocidad de giro de 4711 rpm.

Aún a esta velocidad de trabajo la separación entre las varillas en ocasiones no fue la suficiente para individualizar el paso de la varilla se procedió a realizar modificaciones en el software del autómatas que le permitieran al sistema determinar el paso de más de una varilla a partir de la medición del tiempo de duración del pulso en la señal de salida del sensor. Una muestra de este tipo de mediciones se muestra en la figura 25, donde el ancho del pulso

alcanza los 52 ms, lo que indica que probablemente pasó más de una varilla, si utilizamos la ecuación (6.1) indicaría que pasaron 2.8 varillas. Como las varillas pasan en números enteros se puede determinar que pasaron más de 2 varillas.

Es importante relacionar este resultado con el de la figura 24, donde se presenta el menor tiempo entre pulsos obtenido de todas las muestras realizadas. Este tiempo es de 2.2 ms, lo que indica que despejando la distancia de la ecuación (6.1) que el sistema puede determinar una separación de varillas de 1.2 mm.

Con estos valores parecerían indicar que la separación entre las varillas debe ser muy poca, pero se debe tomar en cuenta la propagación de la señal a través del sistema y los tiempos de respuesta de los distintos dispositivos. En el caso del sensor el fabricante indica un tiempo de respuesta menor a 0.5 ms y el autómatas se programó con un tiempo de ciclo de 2 ms para la realización de todo el programa.

En las tablas de la 9 a la 14 se puede observar la evolución del error conforme se fueron depurando las rutinas del programa. Como se mencionó inicialmente el sistema solo contaba con cada pulso y posteriormente se fueron realizando modificaciones al programa para que este pudiera determinar el paso de más de 1 varilla dependiendo del ancho de duración del pulso a la salida del sensor.

Esta mejoría se muestra en una forma gráfica en las figuras 29 y 30 donde se puede observar la evolución de la disminución en la diferencia entre el valor de varillas que pasaron por el transferidor y el conteo realizado por el sistema.

Como se puede observar en la tabla 14 el error total es del 1 %, lo que indica que el sistema se volvió mucha más efectivo si se compara con la tabla 9 donde el error total es del 19 %.

Estos resultados, aunque son indicativo del funcionamiento del sistema, no pueden ser cotejados con los datos de la producción de la planta, esto debido a que al no estar implementadas las medidas de protección para el sensor no se pudieron realizar pruebas con varilla caliente, como la que sale de la línea de producción.

Todos los datos del sistema se desplegaron mediante la pantalla táctil Magelis, la cual se programó con todas las rutinas necesarias para visualizar el estado de la cuenta y hacer modificaciones a la misma, así como seleccionar los tipos de varilla en producción y poder modificar el número de varillas por manto y por paquete. En el manual del usuario que se muestra en el Apéndice A.2 se puede observar la interfaz gráfica y la forma de uso del sistema, el cual cumplió con los requerimientos establecidos.

Capítulo 7: Conclusiones y recomendaciones

7.1 Conclusiones

- ✓ Es posible utilizar un sensor fotoeléctrico reflectivo del tipo difuso para determinar el paso de la varilla por el transferidor de mantos, siempre que se tomen las precauciones para garantizar su integridad física.
- ✓ La cantidad de potencia térmica recibida por un dispositivo de vidrio a 10 centímetros de las varillas calientes puede aumentar la temperatura en más de $\frac{1}{2}$ Kelvin por segundo.
- ✓ El sensor WT24-2B440 puede determinar el paso de una varilla individual con solo una separación de 1.2 milímetros entre cada varilla.
- ✓ El aumento de la velocidad del motor en la zona dos del transferidor no garantiza la separación adecuada de las varillas, para su adecuada individualización por parte del sistema.
- ✓ Se puede determinar el número de varillas que pasaron sin separación por el transferidor por medio de la medición del tiempo del ancho del pulso generado por el sensor.
- ✓ Todos los datos obtenidos se pueden desplegar en terminales de visualización enlazadas en protocolo modbus.

7.2 Recomendaciones

- Implementar las tuberías de agua para el enfriamiento del sensor con el fin de poner en funcionamiento el sistema dentro de la producción normal de la planta.
- Se debe investigar para desarrollar una solución de tipo mecánica que ayude a la separación de las varillas lograda con la variación de velocidad de los motores.
- Reemplazar de los motores de la zona 2 del transferidor de mantos (1LA7-133-4AA) de 1755 rpm por motores de 3600 rpm y realizar los ajustes a los reductores mecánicos.
- Realización de subrutinas dentro del software del sistema que permitan el análisis estadístico del ancho del pulso a la salida del sensor, lo que puede permitir al mismo programa determinar mediante un análisis matemático la cantidad de varilla que pasaron si el ancho del pulso supera el promedio establecido para una sola varilla.
- Programación de rutinas que permitan al software un programa de calibración, el cual se correría al inicio de la producción y permitiría al mismo sistema calcular el tiempo de duración de paso de cada varilla, lo que facilitaría las subrutinas de aumento del conteo por pulsos de mayor duración, sin importar la velocidad de los motores y el ancho de la varilla.

Bibliografía

1. A. Carzorla, Miguel y Colomina, Otto. "**Robots Autónomos**". [En línea] Dpto. Cinencia de la computación e I.A., Universidad de Alicante, 22 de julio 2004.
<<http://www.dccia.ua.es/dccia/inf/asignaturas/ROB/optativos/Sensores/intro.html>> [06 enero 2005]
2. Eaton Corporation. "**Sensor. Solutions Book**" Catálogo Cutler-Hammer. Octubre 2003
3. Ejarque, Silvia. "**El sistema sensorial del robot**". [En línea]
<http://www.roboticajoven.mendoza.edu.ar/rob_sens.htm> [06 enero 2005]
4. Incropera, Frank P., DeWitt, David P. "**Fundamentos de transferencia de calor**" 4ª edición. Prentice Hall. México, 1999.
5. Moya Navarro, Marcos, **Investigación de Operaciones - Programación de Proyectos**. 1ª edición. Editorial UNED. San Jose, 1990.
6. Nise, Norman S., **Sistemas de control para ingeniería**. 1ª edición. Editorial Continental. México, 2002.
7. Pitts, D., Sissom, L. "**Teorías y problemas de transferencia de calor**" 1ª edición. McGraw-Hill. Colombia, 1980.
8. Resnick, R., Halliday, D., S. Krane, K. "**Física Vol. 1**". 4º Edición, 3º en español. Compañía Editorial Continental, S.A. de C.V. México, 1997.
9. Rockwell Automation. "**Sensores**" [en línea] Catálogos Allen-Bradley. Rockwell Automation. Junio 2001 < <http://www.ab.com/sensors> > [14 febrero 2005]

10. Schey, John A., "**Procesos de manufactura**" 3ª edición. Editorial McGraw-Hill. México, 2000.
11. Sick Opto-Electronic, S.A. "**Sensick, Sensores Industriales**" Catálogo de Producto, España 2004.
12. Siemens. "**Low-voltage. Controlgear, Switchgear and Systems**" Catálogo NSK 2002.
13. TEAM S. L. "**Manual de hardware SISTEAM A**". Revision B. 2002
14. TEAM S. L. "**SISTEAM A: Software del Sistema**". Revision A. 2002
15. Zemansky, M., Dittman, R. "**Calor y termodinámica**" 6ª edición. McGraw-Hill. Mexico, 1990.
16. Desconocido. "**Automatismos industriales**". [en línea] Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Industrial de Zaragoza.
<http://automata.cps.unizar.es/Historia/Webs/automatismos_industriales.htm> [04 enero 2005]

Apéndices y anexos

A.1 Glosario, abreviaturas y simbología

°C: Grados centígrados, unidad de medida de temperatura.

ASTM: ASTM International es una de las mayores organizaciones en el mundo que desarrollan normas voluntarias por consenso.

CA: Abreviatura utilizada para denotar corriente alterna.

Cable trifilar: cable para sistemas monofásicos, compuesto por tres conductores: uno para la línea de alimentación, otro para el neutro y un tercero para la tierra.

CAN: Protocolo establecido por la norma ISO 11898, es el estándar internacional para la comunicación de la alta velocidad en-vehículo usando el protocolo de bus de *Controller Area Network* (CAN). El alcance de este estándar esencialmente es especificar la capa de enlaces de datos y la capa física del enlace de comunicación.

CC: Abreviatura utilizada para denotar corriente continua o corriente directa.

Cizalla: Instrumento a modo de tijeras grandes, con el cual se cortan en frío las planchas de metal. En algunos modelos, una de las hojas es fija.

CPU: Unidad central de procesamiento.

Desbaste: Estado de cualquier materia que se destina a labrarse, después de que se la ha despojado de las partes más bastas.

Fotosensor: Dispositivo diseñado para determinar la presencia de una fuente luminosa o una determinada cantidad de luz.

IEEE: Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos, por sus siglas en inglés (Institute of Electrical and Electronics Engineers).

J: Joule, unidad de medida de energía.

K: Kelvin, unidad de medida de temperatura.

kg: kilogramo, unidad de medida de masa.

kg/m: peso en kilogramo por cada metro.

Laminador: Máquina compuesta esencialmente de dos cilindros lisos de acero que casi se tocan longitudinalmente, y que, girando en sentido contrario y comprimiendo masas de

metales maleables, los estiran en láminas o planchas. A veces los cilindros están acanalados para formar, entre sus estrías, barras, carriles, etc.

LED: Diodo emisor de luz. Semiconductor que genera luz monocromática cuando la corriente fluye en la dirección conductiva.

m: metro, unidad de medida de longitud.

mm: milímetro, unidad de medida de longitud.

Modbus: Estructura de envío de mensajes desarrollada por Modicon en 1979, que establece la comunicación maestro-esclavo/cliente-servidor entre dispositivos inteligentes. Es una norma verdaderamente abierta y el protocolo de red ampliamente usado en entornos industriales.

PIC: Microcontrolador programable, debe su debido a que en el pasado este tipo de dispositivos funcionaban como controladores programables de interrupciones (Programmable Interrupt Controller).

PLC: Controlador lógico programable.

PNP: Designación para un transistor formado por una capa de material semiconductor con dopado de elementos con 3 electrones de valencia (tipo N) en medio de dos capas de semiconductor dopado con elementos de 5 electrones de valencia (tipo P).

Pulg: distancia en pulgadas = 0.0254 metros.

RS-232: Estándar de comunicación para la transmisión de datos en serie entre equipos, el cual define patillas del conector, cableado, niveles de señal, velocidades de transmisión y control de paridad.

RS-485: Protocolo para la interfaz física de comunicación de datos en serie bajo la norma EIA RS-485 que define patillas del conector, cableado, niveles de señal, velocidades de transmisión y control de paridad.

Sensor: Dispositivo que detecta una determinada acción externa, temperatura, presión, etc., y la transmite adecuadamente.

SISTEAM A: Autómata Lógico Programable con un máximo de 2.048 E/S y muy apto para aplicaciones distribuidas. Dispone de alta potencia de cálculo, una arquitectura monoprocesadora y máximas prestaciones de regulación. Permite la creación de sistemas de control distribuidos gracias a su estructura basada en bus CAN. Dispone de supervisión mediante red Ethernet (TCP/IP) y estándar OPC.

UART: Por sus siglas en ingles; Universal Asynchronous Receiver Transmitter. Es una interconexión de comunicación serie, asíncrona, “full duplex”, donde el usuario puede controlar la velocidad de transmisión.

Variador de frecuencia: Dispositivo de control electrónico de potencia que permite manejar la velocidad y par de un motor por medio del manejo de la frecuencia de operación.

W: Watt, unidad de medida de potencia.

A.2 Manual del usuario

Sistema automático para el control de la producción de varilla

Manual del usuario. Versión B

Mayo 2005

R.p: AEL

INTRODUCCIÓN

El siguiente manual tiene como objetivo explicar de una forma clara las principales características del equipo instalado para el sistema de conteo, además de presentar al operario la forma de utilización de las interfaces humano-maquina con las que se cuenta.

Este sistema se encuentra en una etapa avanzada de desarrollo, lo que lo convierte en un sistema funcional pero aún en período de pruebas, por lo que se esperan todavía algunas modificaciones a su funcionamiento y a esta documentación.

El sistema forma parte de una iniciativa de la empresa Laminadora Costarricense S.A., el desarrollo estuvo a cargo del departamento eléctrico de la compañía.

DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO

El control central del equipo esta basado en el Sistema Integrado de Control y Regulación de procesos denominado SISTEAM A. Este sistema presenta una configuración modular, que le permite estar interconectado mediante dos tipos de enlaces: el primero es de tipo local y se basa en un bus propietario TMX, y otro de tipo distribuido (para interconectar módulos locales) construido alrededor del bus estándar CAN. Para la aplicación desarrollada no sería necesario más que una base para conexión local TMX que tiene capacidad para 8 módulos de entrada / salida además de un módulo procesador para controlar el sistema y una fuente de alimentación. Este bus no utiliza panel trasero como es usual en sistemas modulares de similar diseño, sino que un pequeño circuito impreso, provisto de dos conectores hembra, conecta cada módulo con el siguiente. Cada módulo tiene dos conectores macho, uno para el módulo precedente y otro para el módulo siguiente. La forma de conexión de cada módulo en el bus TMX se muestra en la figura 1.

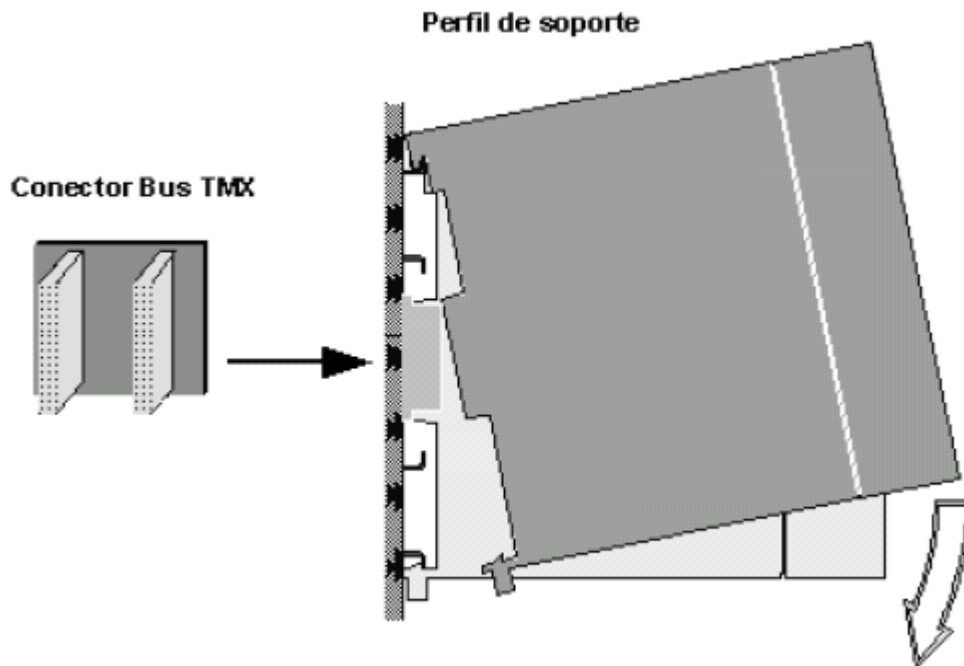


Figura 1. Conector del bus TMX y colocación del módulo en el soporte.

Como se mencionó anteriormente cada soporte necesita de su propia fuente de alimentación. Esta fuente se debe colocar de primera a la izquierda del panel o soporte metálico que incluye el bus TMX. Esta fuente se alimenta a su vez de un voltaje 220 V en corriente alterna y genera el voltaje de 24 V en corriente directa para el módulo procesador y el bus TMX, donde esta disponible para los demás módulos de entrada-salida. El modelo de la fuente utilizada es el BH2002. Entre sus principales características están:

- ✓ Asilamiento galvánico entre la entrada y la salida de 2500 V ac.
- ✓ Consumo máximo de potencia de 43 W.
- ✓ Corriente de entrada típica de 0.35 A a 200 V ac.
- ✓ Tensión de salida 24 V \pm 2% dc.
- ✓ Intensidad máxima de salida 1.3 A.
- ✓ Peso 350 g.

El procesador general utilizado es el modelo BH2101, este módulo se basa en un sistema operativo diseñado por el mismo fabricante, que asegura aprovechar al máximo los recursos hardware del mismo, está especialmente diseñado para aplicaciones en tiempo real.

Entre las principales características del módulo están:

- ✓ Microprocesador principal 80386 EX (32 bits y 32 MHz), procesador auxiliar de comunicación SIEMENS C161 (16 bits y 16 MHz).
- ✓ Memoria flash interna de 1 MB, ampliable mediante tarjeta PCMCIA de 2 MB.
- ✓ Memoria RAM de 256 kB (128 kB para el sistema operativo y 128 kB para variables del usuario).
- ✓ Batería de litio de 3V, como respaldo para la RAM.

- ✓ Interfaces TMX en la parte posterior, además de 2 puertos (conector sub-D 9, macho) para bus CAN y 2 puertos RS-232 (conector sub-D 9, hembra) en la parte frontal.
- ✓ Tensión de alimentación 24 V dc \pm 10%, consumo máximo de 265 mA.
- ✓ Separación galvánica entre puertos de comunicación y el resto del equipo de 2500 Vac.

Para manejar las entradas digitales se escogió el módulo BH2313. En el caso de las salidas de control se utilizó el módulo BH2331.

Como parte del sistema de control de velocidad de los motores del apilador de mantos, se instaló un variador de velocidad para motores asíncronos modelo Altivar 31, ver tabla 1. Este variador de velocidad se incluyó para poder aumentar la velocidad del motor 2 en zona 2 del transferidor de mantos a 200 Hz, de manera que permitiera separar la varilla debido a la diferencia de velocidad con el motor 1 que es de 60 Hz. El motor que se controla es un motor trifásico de cuatro polos 1LA7133-1AA61 fabricado por SIEMENS, cuyos datos técnicos se presentan en la tabla 2. El sistema se implementó en forma temporal para realizar pruebas que pudieran determinar si era posible realizar la separación adecuada de las varillas en el transferidor, por lo que por ahora no tiene comunicación con el control central, pero la opción de control por medio de comunicación modbus o señales digitales es posible dadas las características del sistema.

Tabla 1. Datos del fabricante del variador de velocidad ATV31HD11N4

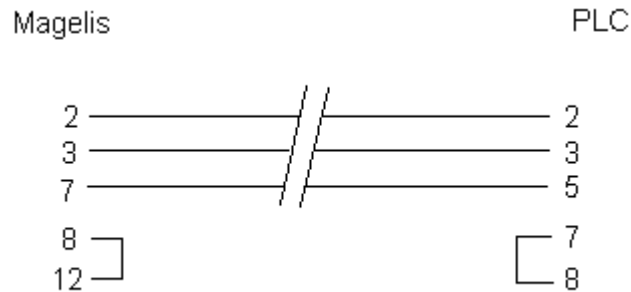
Motor	Red (entrada)				Variador (salida)			
	Corriente de línea max. (A)		Icc de línea estimada max. (kA)	Potencia aparente (kVA)	Corriente de conexión max. (A)	Corriente nominal (A)	Corriente transitoria max. (A)	Potencia disipada en carga nominal (W)
Potencia indicada en placa (kW/HP)	En 380 V	En 500 V						
11/15	37,2	28,4	22	25,0	97	27,7	41,6	397

Tabla 2. Valores de placa del motor 1LA7-133-4AA.

Frecuencia (Hz)	Voltaje (V)	Tipo de conexión	Corriente nominal (A)	Factor de potencia	Velocidad nominal (rpm)	Potencia (kW)
60	460	Δ	14.7	0.83	1755	8.6

Para determinar el paso de la varilla se utiliza el sensor WT24-2B440. Este sensor forma parte de la familia de sensores industriales para ambientes hostiles de la compañía SICK. Al sensor llega un cable trifilar el cual provee al mismo de la alimentación, la masa o tierra y le permite enviar la señal de salida al control central. Esta conexión esta prevista desde la bornera =3236B +32XA01 y de esta bornera a la sala eléctrica de evacuación.

La interface humano-maquina se realiza con una pantalla táctil Magelis XBTF034110. Esta pantalla utiliza alimentación de 24 V dc y 35 W. La conexión con el PLC se realiza por medio de protocolo modbus, la Magelis utiliza un conector de 24 pines y el PLC un conector de 9 pines, la configuración de los pines se muestra en la siguiente figura.

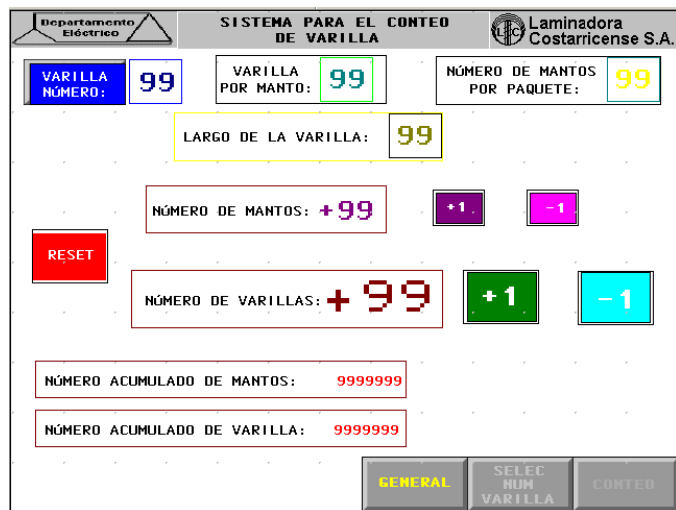


PROCEDIMIENTOS

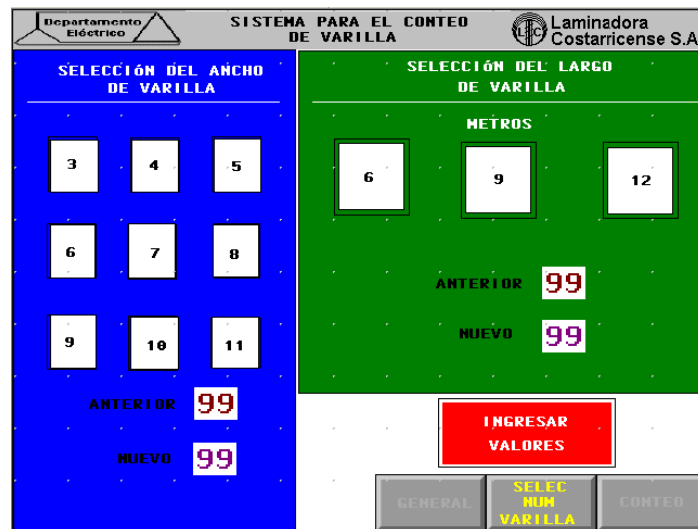
Navegando en la pantallas de la Magelis

La pantalla táctil o Magelis maneja 3 pantallas para el control, accionamiento y visualización de valores estas son:

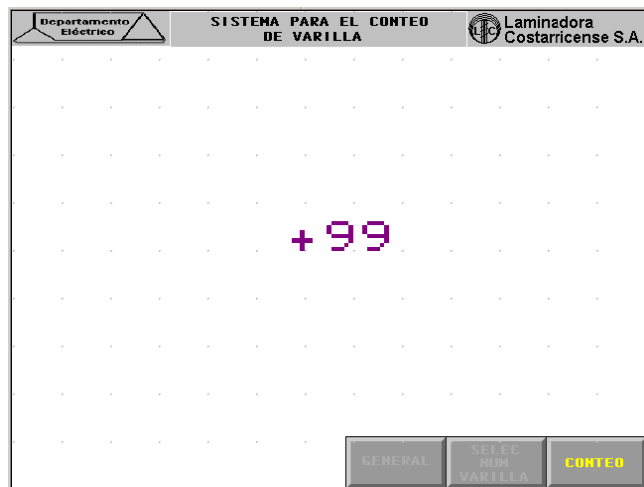
PANTALLA GENERAL



SELECCIÓN DE NÚMERO DE VARILLA



CONTEO



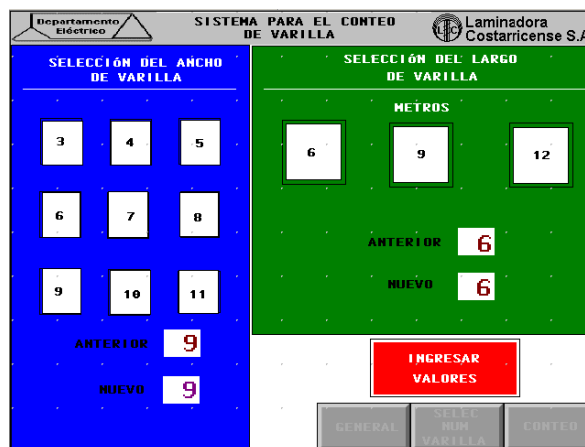
Para navegar entre las distintas pantallas se debe presionar el botón o zona táctil para cada pantalla, los cuales se ubican en la parte inferior derecha del tablero táctil.



Selección de tipo de varilla

Se debe tener en cuenta que al seleccionar un nuevo tipo de varilla se borrarán todos los contadores de la producción del PLC.

1. Se debe seleccionar en la pantalla la opción para ir a la pantalla donde determina el tipo de varilla, esta opción esta disponible con 2 botones distintos en la pantalla general del sistema: a la izquierda arriba en azul el cuadro que indica VARILLA NÚMERO y la opción del menú con el botón del medio SELEC NUM VARILLA.
2. Una vez en la pantalla de selección de varilla aparecerán 9 opciones para escoger el grosor de varilla, y 3 opciones para el largo a producir.
3. Se debe presionar el número de varilla que se desea cargar al sistema, tanto de diámetro como de largo, una vez presionada la opción el número deberá aparecer en la casilla indicada como NUEVO.
4. Una vez que el valor seleccionado aparece en la casilla marcada como NUEVO se debe oprimir el botón rojo con la leyenda INGRESAR DATO, al presionar dicho botón se cargará el nuevo valor de varilla en el PLC, si la operación se realizó adecuadamente en la pantalla aparecerá el digito de la casilla ANTERIOR igual al de la casilla NUEVO.



NOTA: Al ingresar un número nuevo se borrará el número acumulado con el total de varillas producidas.

5. Cuando el tipo de varilla a sido cargado al PLC este asignará el número de varillas por manto y el número de mantos que conformarán cada paquete, según la siguiente tabla:

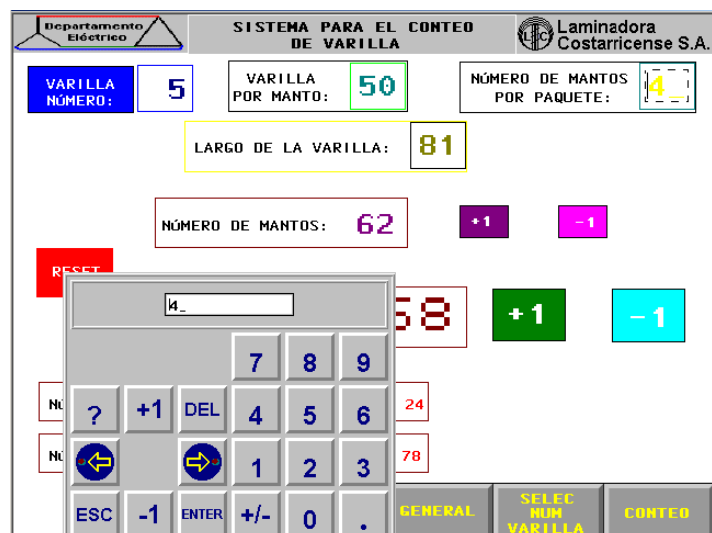
Varilla	Largo de varilla (m)					
	6		9		12	
	# varillas	# mantos	# varillas	# mantos	# varillas	# mantos
3	75	6	75	6	75	6
4	60	5	60	5	60	5
5	40	4	40	4	40	4
6	32	5	32	5	30	4
7	24	5	24	5	18	5
8	20	5	20	4	20	3
9	10	10	10	6	10	4
10	12	5	10	5	10	3
11	10	6	10	4	10	2

6. Los valores prefijados por el PLC para la cantidad de varillas por manto y el número de mantos por paquete aparecen en la parte superior de la pantalla general, cada vez que el contador de varilla alcance el valor para completar el manto se reiniciará el conteo. Lo mismo sucede con el contador de mantos y el valor de mantos por paquete.
7. Si el usuario desea cambiar el número establecido de varillas por manto o de mantos por paquete debe presionar el espacio donde aparece el número asignado en la pantalla general. Al cambiar el valor de cualquiera de estos parámetros los contadores se reiniciarán.



8. Cuando se presionan estos campos aparece una pantalla donde el operador puede cambiar los valores, el valor máximo para estos campos es de 99. Un ejemplo se muestra en la figura anterior, donde se asigna un valor de 30 al número de varillas por manto.

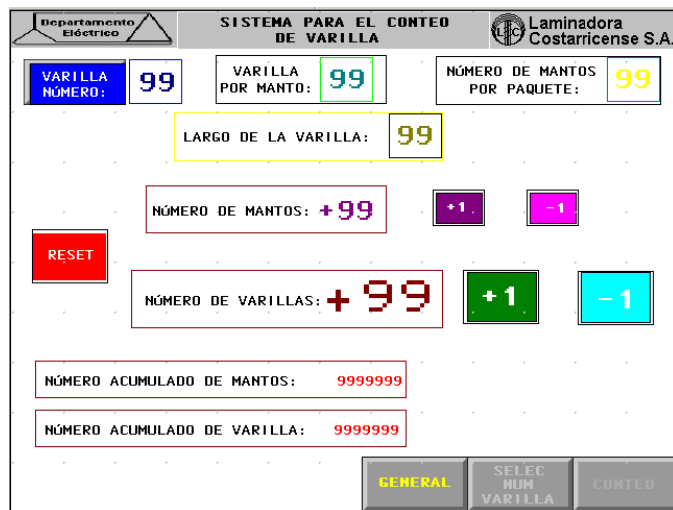
9. En la figura siguiente se muestra la pantalla en el caso de selección del número de mantos por paquete.



Reinicio de los contadores

Existen 4 acciones que producen el reinicio de los contadores :

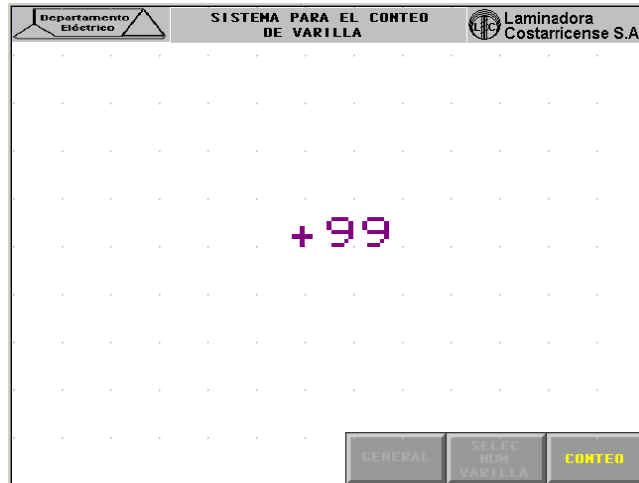
1. Al presionar el botón color rojo con la leyenda RESET que aparece en la pantalla general de la Magelis. Este RESET ocasiona las casillas a la derecha del botón: número de varillas y el número de mantos pasen a cero, pero deja intactos los contadores acumulados que aparecen en la parte inferior de la pantalla.



2. Al seleccionar un nuevo tipo de varilla todos los contadores, tanto los parciales como los acumulados pasan a cero.
3. El contador de número de varilla se reiniciará cada vez que alcance el valor de VARILLA POR MANTO.
4. El contador de número de mantos se reiniciará cuando su valor sea igual al de NÚMERO DE MANTOS POR PAQUETE.
5. Al cambiar los valores establecidos de varillas por manto o mantos por paquete.

Conteo

A esta pantalla se accede pulsando el botón del menú inferior con la leyenda CONTEO. Esta pantalla muestra el número parcial del contador de varilla.



A.3 Información sobre la empresa

A.3.1 Descripción de la empresa

En la década de los años 50 se incrementa la construcción a base de concreto reforzado. Esta novedosa tecnología constructiva introdujo cambios y nuevas necesidades en el mercado costarricense. Rápidamente fue creciendo el consumo de barras o varillas de acero para el concreto reforzado, alambcón y pletina, angulares y varilla cuadrada, productos que se importaban principalmente de Europa. Esta situación evidenció la necesidad de instalar en el país una fábrica, la cual se instaló en San José, Costa Rica en el área de Colima de Tibás, fue así como Laminadora Costarricense fue fundada en 1962.

Con el paso de los años, la creciente demanda fue señalando la necesidad de una mayor producción para el abastecimiento del país, región de Centro América y El Caribe hasta que al final de la década de los años 90 se toma la decisión de instalar una nueva fábrica.

En la actualidad Laminadora Costarricense posee una moderna fábrica cuyas instalaciones tienen un área de aproximadamente 25.000 m² de construcción bajo techo. Situada en la Rita de Guapíles en la provincia de Limón e inició producción en Febrero del 2003. Esta moderna planta produce varillas corrugadas y lisas, además de perfiles estructurales tales como vigas de acero, pletinas y angulares. Cuenta con lo mejor en tecnología a nivel mundial y posee una capacidad instalada de aproximadamente 450.000 toneladas métricas de acero al año. En cuanto a empleos en Laminadora Costarricense laboran aproximadamente 200 personas y otras 120 en forma indirecta. Genera a la zona y al país un gran movimiento comercial debido a que maneja el tránsito de sus materias primas y sus exportaciones principalmente por el Puerto de Moín, provincia de Limón, en la zona Atlántica de Costa Rica.

La planta se dedica a la fabricación de varillas o barras de acero para refuerzo de estructuras de concreto en la construcción de obras de civiles y otros usos de la industria.

Producimos:

- Varilla corrugada en diferentes diámetros desde 8.95 mm hasta 37.96 mm
- Varilla lisa en varios diámetros desde 8.95 mm hasta 25.35 mm
- Varilla de sección cuadrada usos diversos desde 9.03 mm hasta 12.05 mm

Todos los productos son elaborados con aceros estructurales de calidad grado 40 y grado 60 los cuales además, cumplen con las normas americanas ASTM.

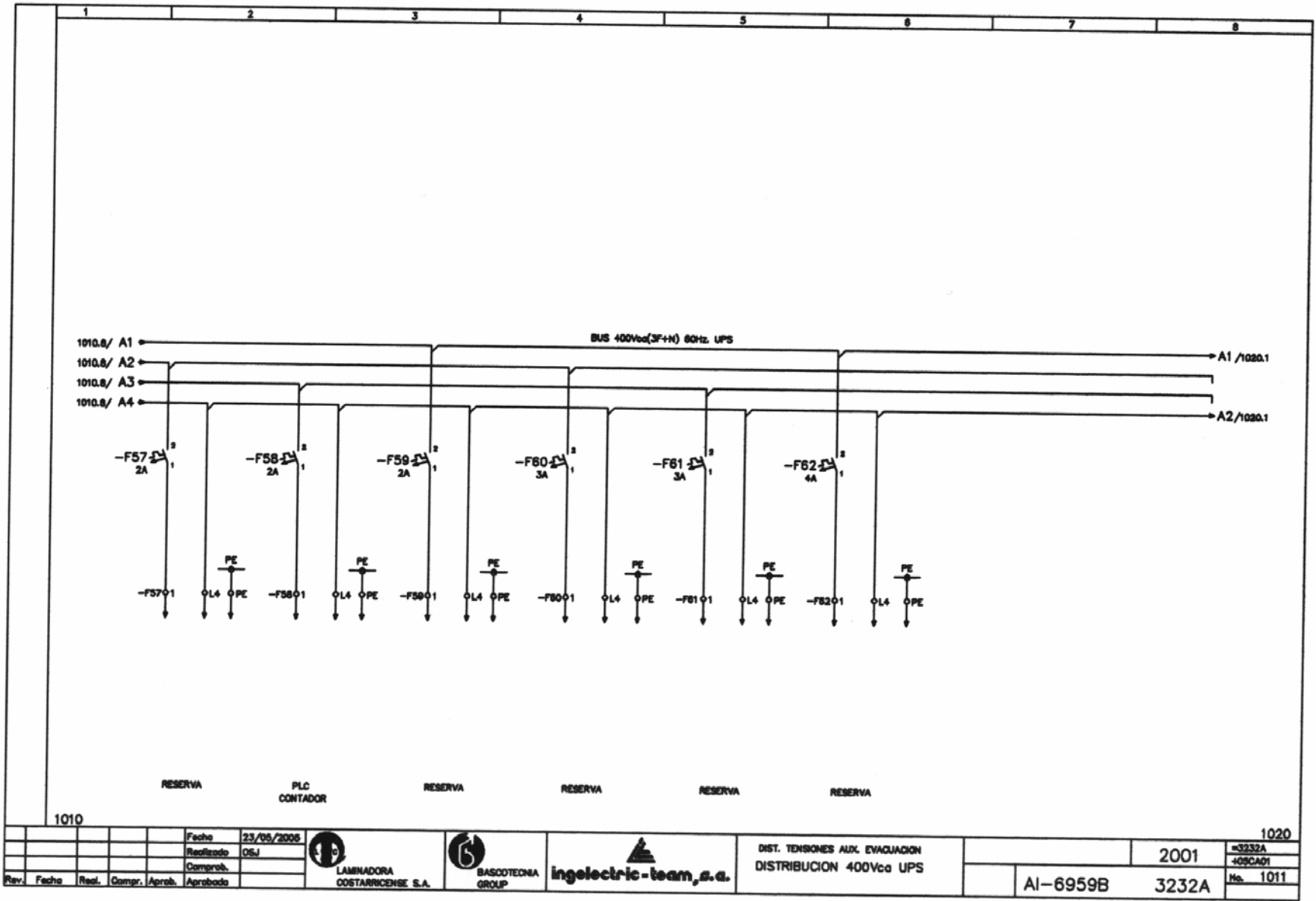
A.3.2 Descripción del departamento

Dentro de la planta de Laminadora Costarricense S.A. funciona el departamento eléctrico que forma parte del área de mantenimiento de la empresa. Este departamento cuenta con tres puestos: jefe del departamento eléctrico, electricista 1 y electricista 2, aunque en la actualidad dadas las necesidades se están incorporando nuevos puestos al departamento.

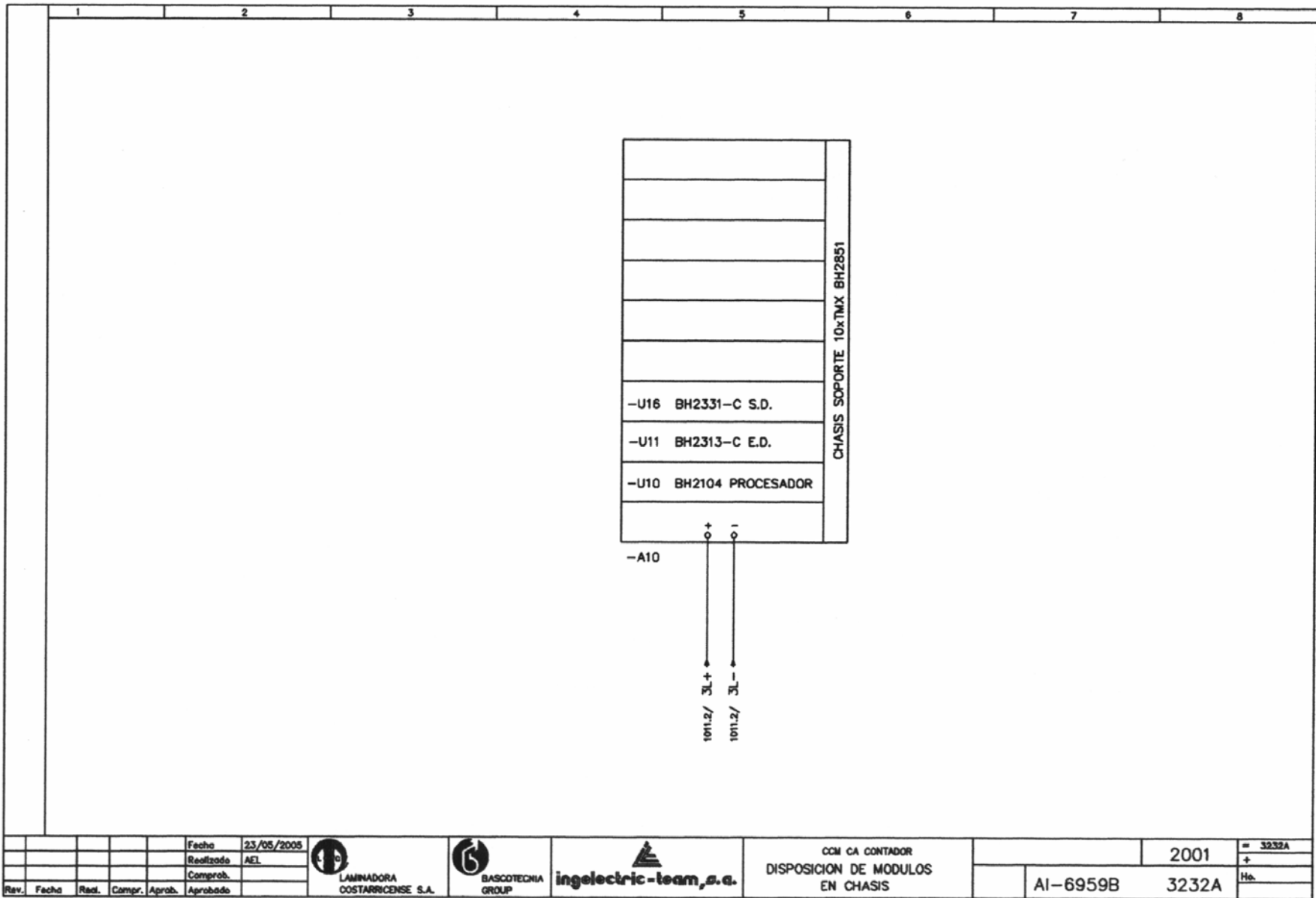
Entre las funciones del departamento eléctrico se encuentran:

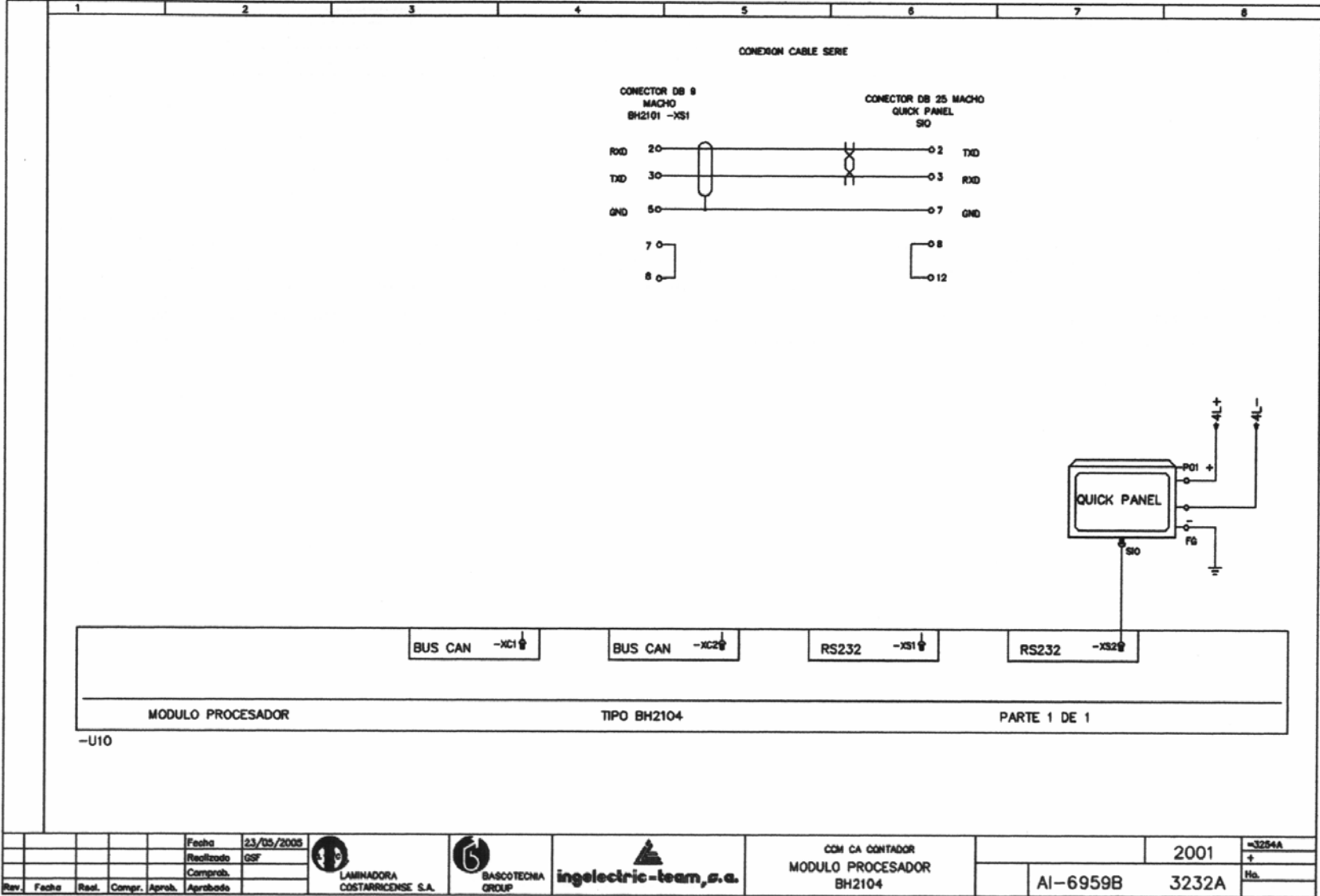
- Mantener el respaldo y actualización de los programas de control de los PLC.
- Velar por el correcto funcionamiento de la red de comunicación de datos de la planta.
- Mantener y organizar posibles cambios en motores CC y CA, y sus sistemas de control.
- Realizar mantenimiento preventivo y correctivo de los equipos eléctricos y electrónicos.
- Analizar las causas de fallas que provoquen paros en la producción y plantear soluciones que permitan su corrección.
- Realizar los procedimientos de inspección y análisis que fallas que lleven a mejorar los sistemas y evitar las fallas.

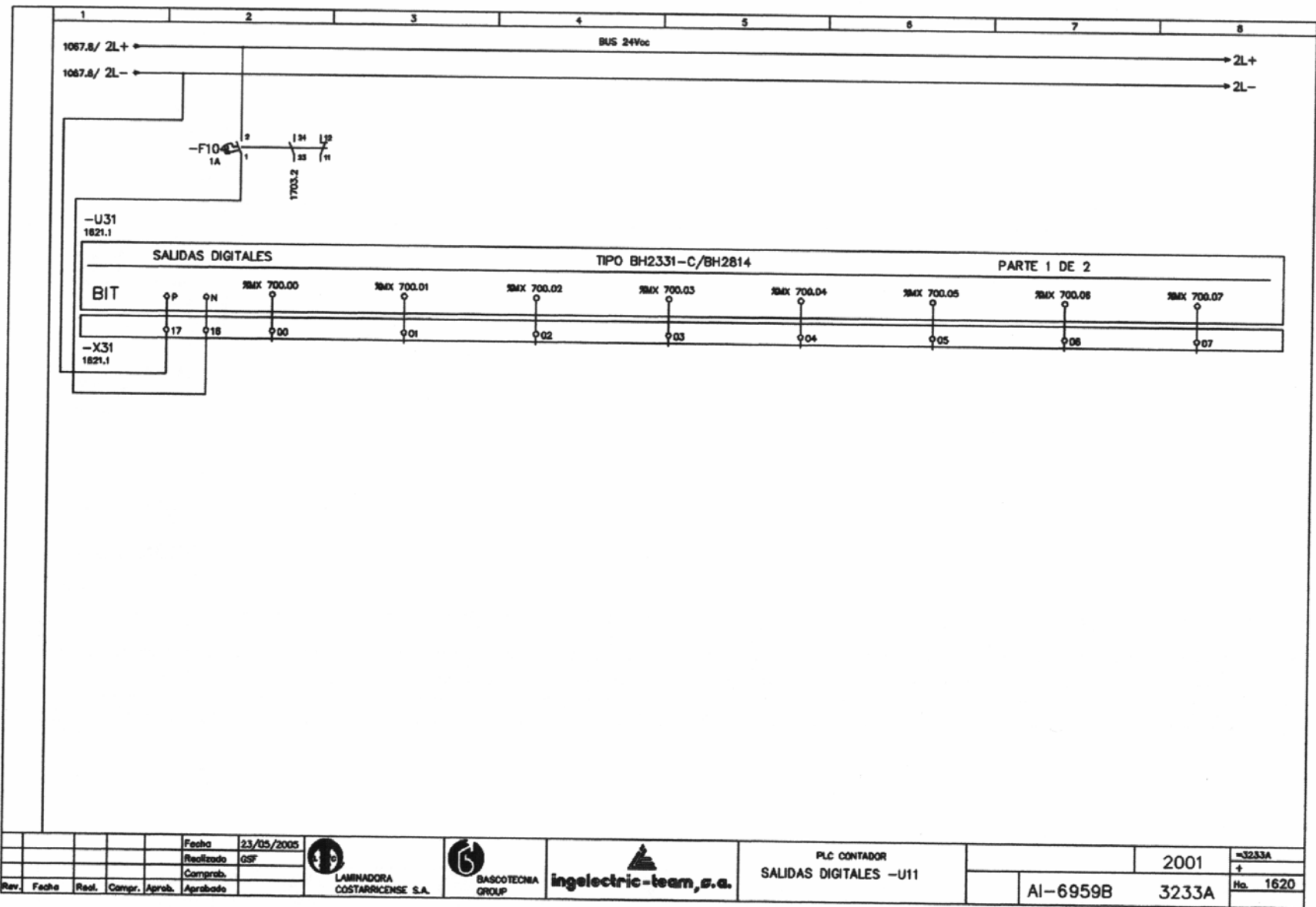
Anexo B.1 Modificaciones a diagramas de ingeniería Laminadora Costarricense S.A.

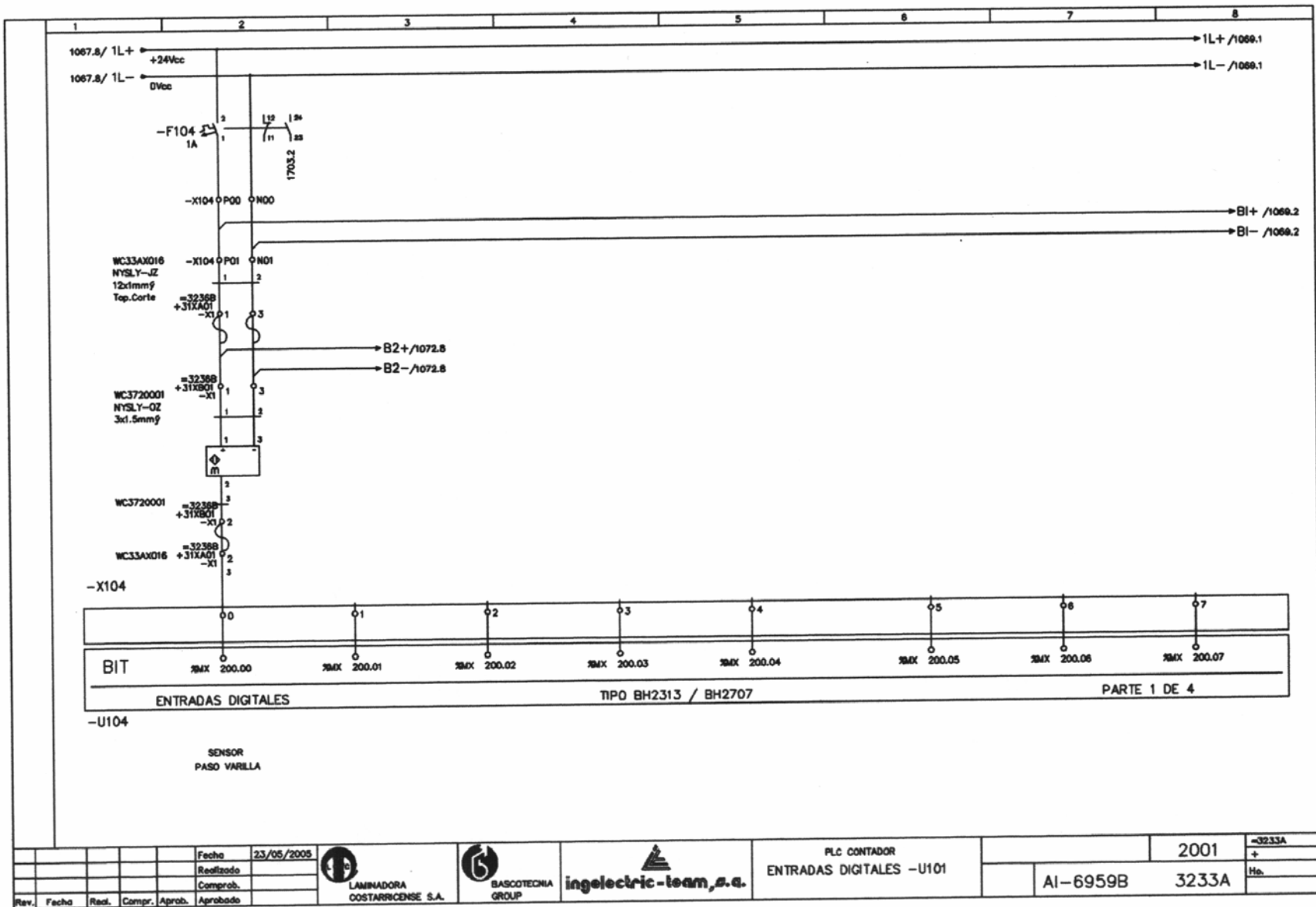


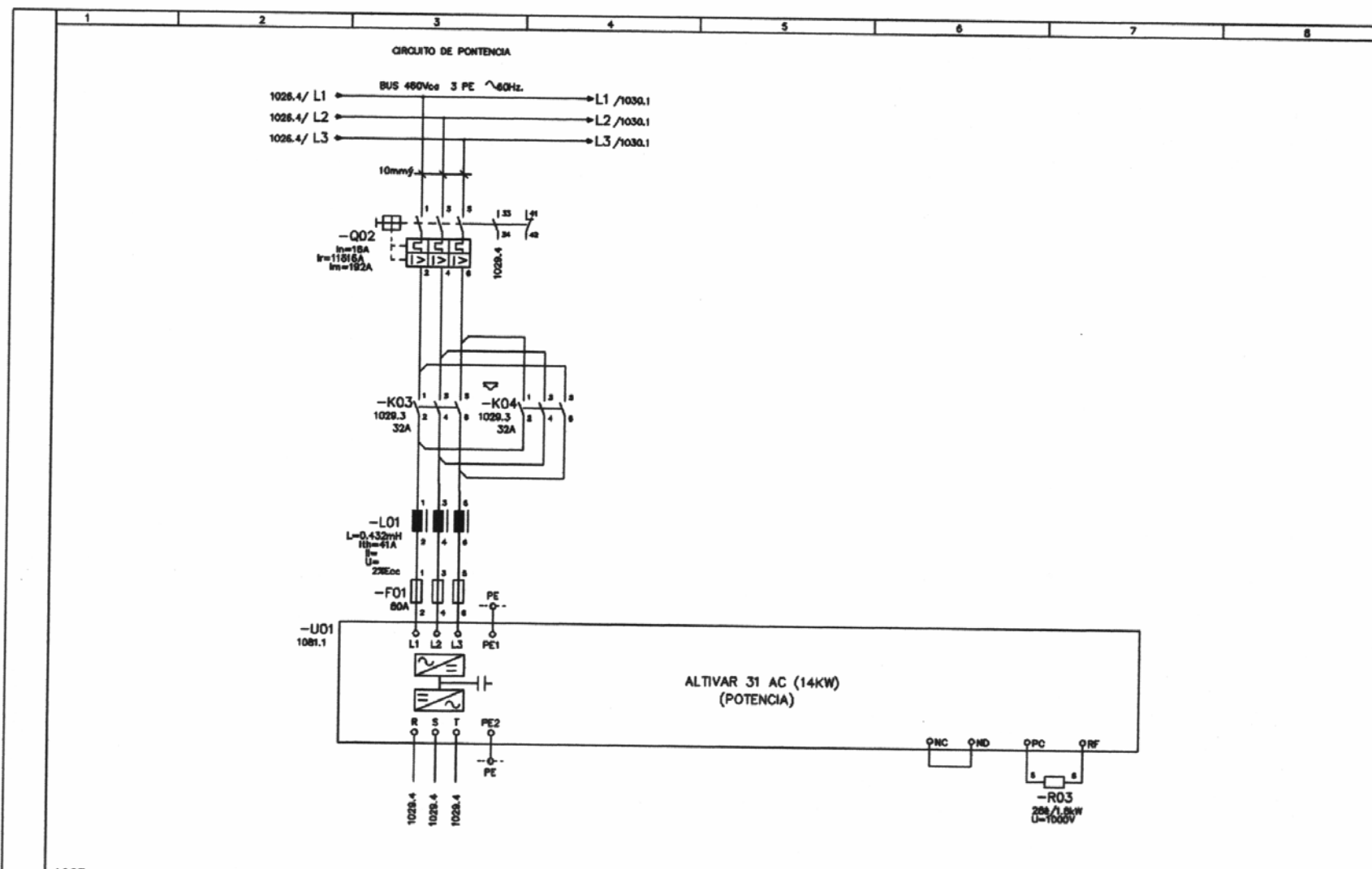
				Fecha	23/06/2005	 LAMINADORA COSTARRICENSE S.A.	 BASCOTECNIA GROUP	 ingelectric-team, s.a.	DIST. TENSIONES AUX. EVACUACION				1020	
				Realizado	OSJ				DISTRIBUCION 400Vca UPS		2001	=3232A	+05CA01	
				Comprob.							AI-6959B	3232A	No.	1011
Rev.	Fecha	Real.	Compr.	Aprob.	Aprobada									







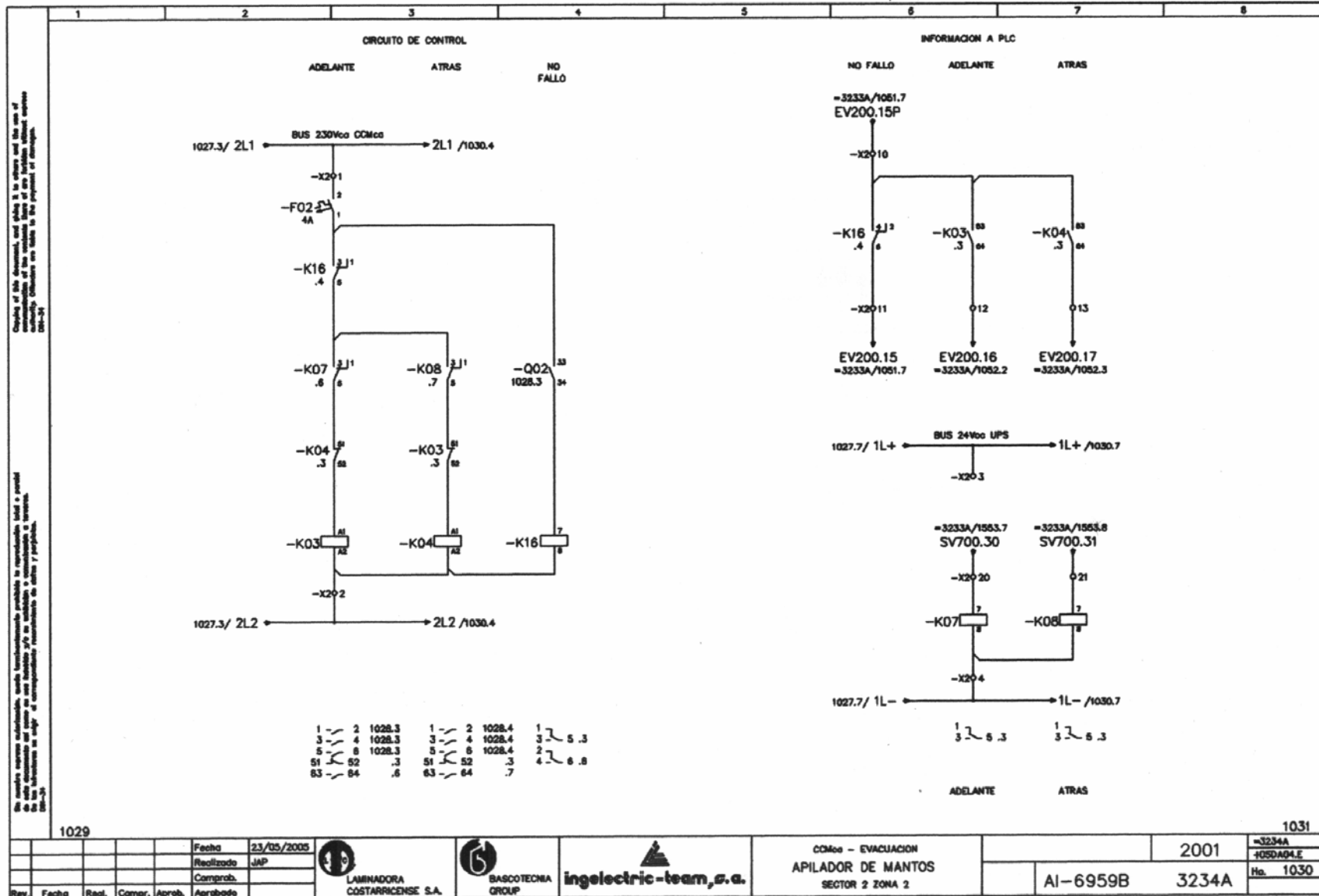


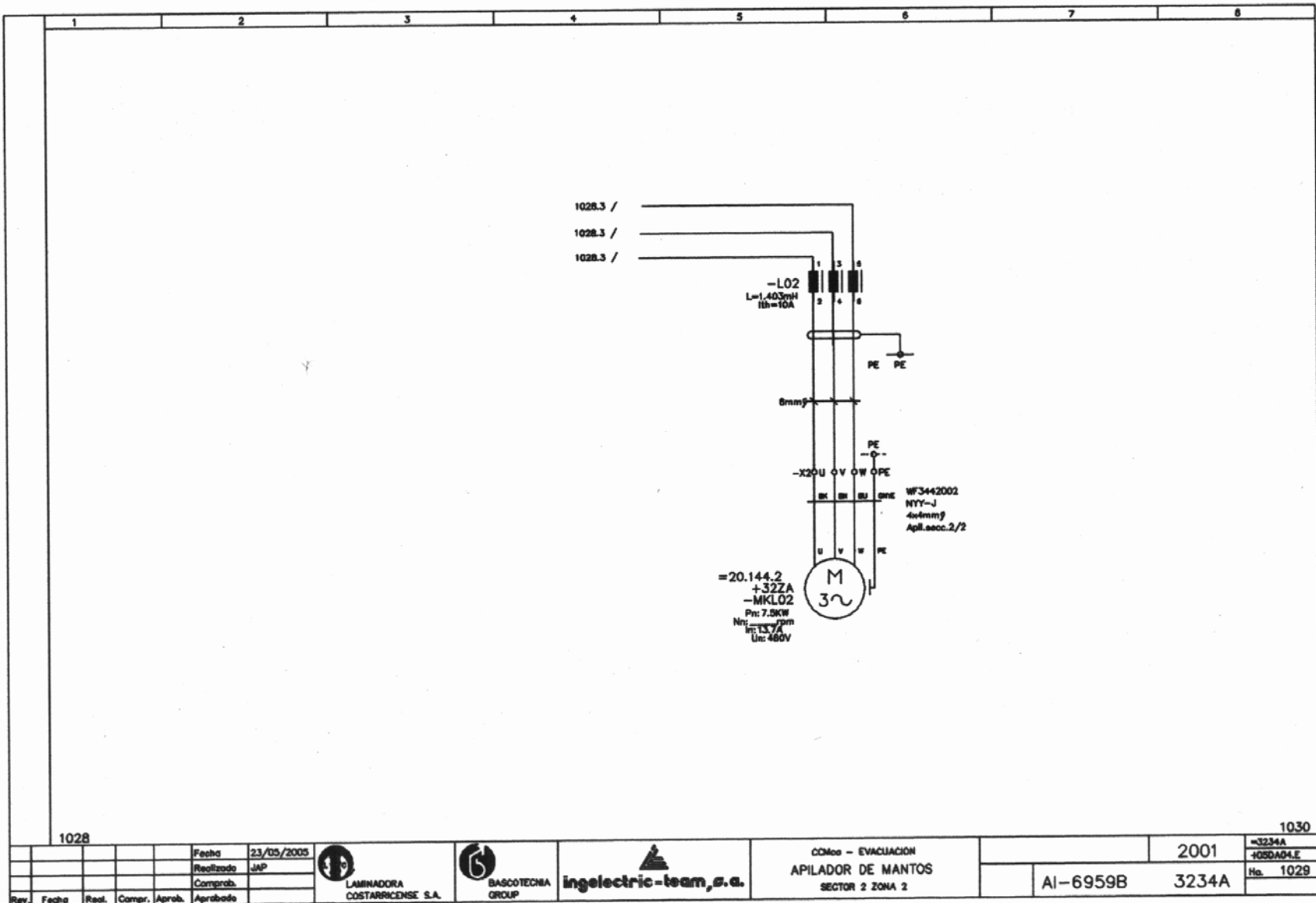


1027

1029

			Fecha	23/05/2005	 LAMINADORA COSTARRICENSE S.A.	 BASCOTECNIA GROUP	 ingelectric-team, s.a.	COMO - EVACUACION							
			Realizado	JAP						APILADOR DE MANTOS	2001	=3234A	+0550A04.E		
			Comprob.							SECTOR 2 ZONA 2	AI-6959B	3234A	No.	102B	
Rev.	Fecha	Real.	Compr.	Aprob.											





1028					1030					
Fecha	23/05/2005	 LAMINADORA COSTARRICENSE S.A.	 BASCOTECNIA GROUP	 ingelectric-team, s.a.	COMo - EVACUACION		2001		3234A	
Realizado	JAP				APILADOR DE MANTOS		AI-6959B		3234A	Ho. 1028
Correab.					SECTOR 2 ZONA 2					
Rev.	Fecha	Real.	Compr.	Aprob.						

Anexo B.2 Hojas de datos

W 24-2: Designed for Rough Use in Industry



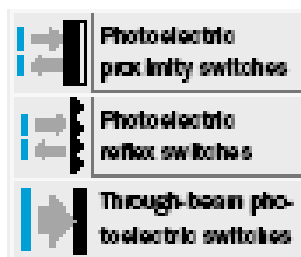
The design is also user-friendly, which is proved by the easily accessible terminal chambers, the rotatable plug connection, easy alignment of the sensors thanks to visible red light and the different supply voltages, including two universal voltage versions for AC and DC power supply.

Different equipment types are available. The WS/WE 24-2 through-beam photoelectric switch will be in you over with its extremely high range of up to 60 m. The photoelectric reflex switches also has a range up to 22 m, rather than most other equipment. And finally the adjustable WT 24-2 photoelectric proximity switches: their background suppression even at the maximum scanning distance of 1200 mm with red light and 2500 mm with the infrared model provide a incomparable measure of accuracy.



When the operating environment is especially rough or wet, the W 24-2 photoelectric switch series provides the required detection reliability. This is the result of a number of equipment features:

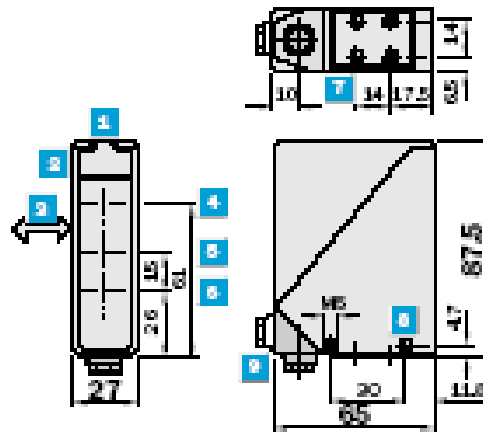
- Sturdy metal housing with enclosure rating IP 67
- Extremely high degree of insensitivity to ambient light
- Scratchproof front screen covers made of plastic
- Front screen heating



Scanning distance
 100 to 1200 mm
 Photoelectric proximity switch

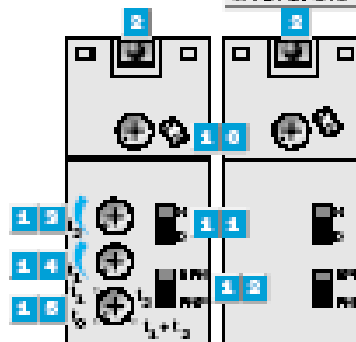
- Sturdy metal housing
- Red light
- Background suppression, can be set very precisely
- Equipment plug rotatable by 90°
- Front screen heating and selectable time delay, optional

Dimension illustration



Setting options

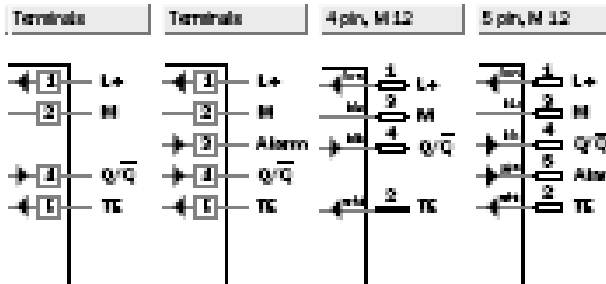
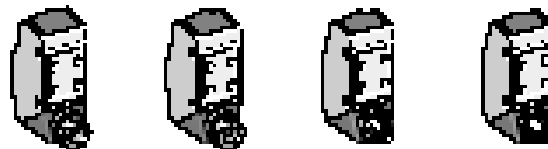
WT 24-2B 250	WT 24-2B 240
WT 24-2V 250	WT 24-2B 440
	WT 24-2V 540



- 1 Alignment sight
- 2 LED signal strength indicator
- 3 Standard direction of material being scanned
- 4 Middle of optic axis, sensor
- 5 Middle of optic axis, receiver at close range
- 6 Middle of optic axis, receiver at long range
- 7 M5-threaded mounting hole, 6 mm deep
- 8 M5-threaded mounting hole, through hole
- 9 PG screw fitting or plug rotatable by 90°
- 10 Scanning distance adjuster
- 11 High/low selector
- 12 NPN/PNP selector
- 13 Time control t_1 = OFF-delay
- 14 Time control t_2 = OFF-delay
- 15 Time delay selector

Cable section type

WT 24-2B 240	WT 24-2V 250	WT 24-2B 440	WT 24-2V 540
WT 24-2B 250			



Accessories

Cable receptacles
Mounting brackets
Dust shields
Weather hoods
Cooling plates

Technical data		WT 24-2	B 240	B 250	B 440	V 250	V 540				
Scanning distance	100 to 1200 mm, adjustable										
Light source (1)	LED; red light										
Light spot diameter	A approx. 4.1 mm at a distance of 1,200 mm										
Supply voltage V_{in}	10 to 30 V DC (1)										
Ripple (2)	$< 5 V_{in}$										
Current consumption (3)	< 50 mA < 70 mA, front screen heating										
Switching outputs	NPN or NPN, Q or \bar{Q}										
Output current (4) max.	100 mA										
Response time (5)	< 500 μ s										
Max. switching frequency (6)	1000/s										
VMA contamination signalling output	A lamp, PNP										
Time delay	Adjustable, 0.5 to 10 s										
Test input (7E)	Sender switched off										
Sender off	NPN or NPN; TE to 0 V										
Connection type	PG screw fitting Plug										
VDE protection class (7)	II										
Circuit protection (8)	A, B, C										
Enclosure rating	IP 67										
Ambient temperature	Operation -40 °C to $+60$ °C Storage -40 °C to $+75$ °C										
Weight	A approx. 220 g										
Front screen heating											
Housing material	Zinc die-cast housing										

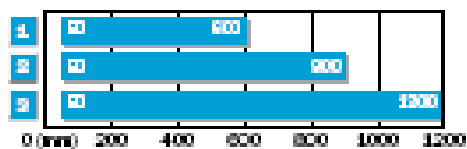
- 1) Average service life 100,000 h at $T = +25$ °C
2) Unripple value
3) May retroceded or full short off V_{in} tolerance

- 4) Without load
5) Signal light flashes with short lead
6) With light/dark ratio 1:1
7) Withstand voltage 50 V DC

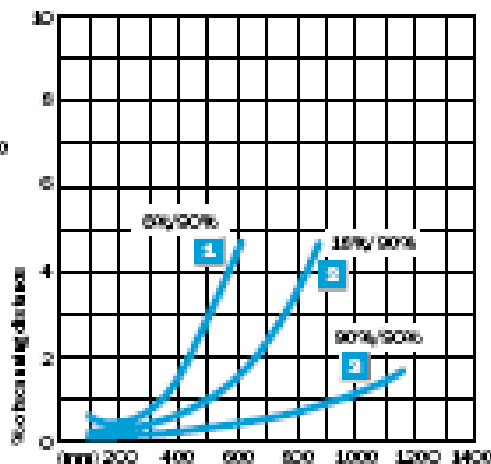
- 8) A = V connections reverse-polar protected
B = Outputs Q and \bar{Q} short-circuit protected
C = Interference pulse suppression

- 9) Black = 0 % retention
Grey = 10 % retention
White = 90 % retention

Scanning distance



- 1 Scanning of fibres on black (9)
2 Scanning of fibres on grey (9)
3 Scanning of fibres on white (9)



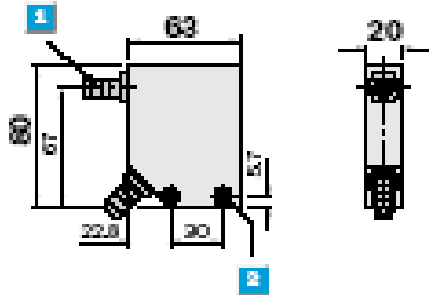
Order information

Type	Order no.
WT 24-2 B 240	1.017 512
WT 24-2 B 250	1.017 562
WT 24-2 B 440	1.015 994
WT 24-2 V 250	1.017 567
WT 24-2 V 540	1.017 569

Cooling plate for water after cooling

Type	Order no.
085A024	3 015 030

- 1 Hose nozzle R 1/4"
- 2 Borehole for M5 counter-sunk screw



Two pieces are required per photoelectric switch/proximity switch.

- 1 Cooling water temperature approx. 20 °C

