

Instituto Tecnológico de Costa Rica

Escuela de Ingeniería en Electrónica



**Automatización de las bandas transportadoras y de las bandas de descarga,
en una línea de producción del vulcanizado de llantas**

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

José Castro Murillo

Cartago, Enero de 2009

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA

ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

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



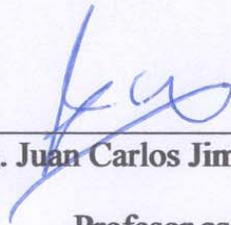
Ing. Johan Carvajal Godínez

Profesor lector



Ing. Marvin Hernández Cisneros

Profesor lector



Ing. Juan Carlos Jiménez Robles

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, 29 de Enero del 2009

Declaro que el presente Proyecto de Graduación ha sido realizado enteramente por mi persona, con ayuda de una serie de visitas realizadas a Bridgestone Firestone de Costa Rica S.A. Utilizando y aplicando literatura referente al tema e introduciendo conocimientos propios adquiridos en el transcurso de la carrera de Ingeniería Electrónica.

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.

Cartago, 29 de Enero del 2009



José Castro Murillo

Céd: 2-0568- 0829

Resumen

Bridgestone Firestone de Costa Rica S.A., una empresa vanguardista con tecnología avanzada de manufactura de llantas y con una creciente producción. Llegando actualmente a más de 12000 llantas diarias; lo que se hace necesario que los equipos de producción se encuentren prácticamente encendidos los siete días de la semana y las 24 horas del día.

El continuo y apresurado crecimiento de Firestone ha hecho que en algunas partes de la línea de producción no se haya planificado en forma eficiente, como parte de esto la utilización de algunos motores y actuadores que controlan el flujo de llantas dentro del área de vulcanización de llantas, generen un consumo de energía innecesaria para la empresa. Tal es el caso de las bandas transportadoras y las bandas de descarga controladas mediante PLC's (Programmable Logic Controller) Allen-Bradley.

La incomunicación de algunos equipos de producción, como lo son las prensas de vulcanización, las bandas de transporte y las bandas de descarga (debido a la programación de los PLC's que las controlan), hacen que todo el proceso sea ineficiente, generando así un consumo innecesario y excesivo de energía tanto eléctrica como neumática.

El objetivo de éste proyecto es desarrollar un sistema de comunicación, sincronización e interconexión para unificarlo en un control eficiente, para la automatización de una de las cinco líneas de producción, recurriendo a la utilización de un PLC como herramienta de implementación y tomando los resultados como parte de la primer etapa de unificación del área de vulcanización de Firestone.

Palabras clave: motores, actuadores, vulcanización, unificación, PLC.

Abstract

Bridgestone Firestone of Costa Rica SA, a company with cutting-edge technology and manufacturing tires with a growing production. Coming now to more than 12,000 tires per day, so it is necessary for the production equipment are running virtually seven days a week and 24 hours a day.

The continued growth of Firestone and hastily made that in some parts of the production line has not been planned in an efficient, as part of this use of some motors and actuators that control the flow of tires into the area of rubber tires , Generating an unnecessary energy consumption for the company. Such is the case of conveyor belts and bands from unloading controlled by PLC's (Programmable Logic Controller) Allen-Bradley.

The incommunication of some production equipment, as are the vulcanizing presses, the bands of transport and bands unloading (due to the programming of the PLC's that control), make the whole process is inefficient, thus generating an unnecessary and excessive consumption of energy both electrical and pneumatics.

The objective of this project is to develop a system of communication, synchronization and interconnection to unify in an efficient control for the automation of the five production lines, including the use of a PLC as a tool for implementing and taking the results as part of the first stage of unification of the area of Firestone rubber.

Keywords: motors, actuators, curing, unification, PLC.

Dedicatoria

A mis padres y hermanos, por brindarme su gran apoyo, pese a todas las circunstancias adversas de la vida, a ellos, por ser un motivo de superación día con día, a ellos, por enseñarme el valor de una familia y por brindarme su infinito amor.

Gracias, por ustedes y para ustedes.

Agradecimiento

A Dios, por darme la fortaleza de seguir adelante, por guiarme en el transcurso de la vida y por enseñarme que la satisfacción de vivir no se logra sin esfuerzo.

A mis padres y hermanos, por su paciencia, por su confianza y por todos sus desvelos para que yo tenga lo mejor.

A la familia Vargas Castro, a Julio Castro y a Hugo Castro, por brindarme su apoyo en los momentos difíciles.

A Mayi, por ser parte importante de mi vida.

A la gente de Bridgestone Firestone de Costa Rica, por darme la oportunidad de crecer como persona y como profesional. Gracias a mi asesor el Ingeniero Marcelo Quintana y a todos los que conforman el Departamento de Proyectos, en especial al Ingeniero Gustavo Villalobos.

INDICE GENERAL

Capítulo 1: Introducción.....	13
1.1. Problema existente e importancia de su solución.....	13
1.2. Solución seleccionada	17
Capítulo 2: Meta y objetivos	20
2.1 Meta.....	20
2.2 Objetivo general.....	20
Capítulo 3. Marco teórico.....	23
3.1 Descripción del sistema o proceso a mejorar	23
3.1.1 Bandas transportadoras (Conveyors)	23
3.1.2 Bandas de descarga	25
3.2 Antecedentes Bibliográficos.....	28
3.2.1 Controlador lógico programable (PLC), ALLEN BRADLEY SLC 5/04	28
3.2.2 Lenguaje de programación desarrollado para el PLC	28
3.2.3 Bus DiveceNet	29
3.2.3 Red Ethernet.....	30
3.2.4 Sensores fotoeléctricos.....	30
3.3 Descripción de los principales principios físicos, de software y/o electrónicos relacionados con la solución del problema	31
3.3.1 Diagramas de flujo y secuenciales	31
3.3.2 Motores trifásicos.....	32
3.3.3 Unidad de control.....	33
3.3.4 Potencia y energía	34
3.3.5 Software de programación (RSLogix 500).....	35
Capítulo 4. Procedimiento Metodológico	36
4.1 Reconocimiento y definición del problema	36

4.2	Obtención y análisis de información	36
4.3	Evaluación de las alternativas y síntesis de una solución	37
4.4	Implementación de la solución.....	38
4.5	Reevaluación y rediseño.....	41
Capítulo 5.	Descripción de la solución.....	42
5.1	Análisis de soluciones y selección final	42
5.2	Descripción del hardware	44
5.3	Descripción del software.....	46
5.3.1	Descripción de los principales programas de computo utilizados.....	46
5.3.2	Descripción de las principales rutinas y subrutinas de control de las bandas de descarga y de las bandas transportadoras.....	53
Capítulo 6:	Análisis de resultados	72
6.1	Resultados	72
6.2	Análisis.....	84
Capitulo 7:	Conclusiones y recomendaciones.....	88
7.1	Conclusiones	88
7.2	Recomendaciones	89
Bibliografía	.....	90
Anexos	.....	91
Anexos A.1	.....	91
Anexo B.1	.....	93
Anexo B.2	.....	94
Fórmulas y cálculos	.....	102

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Banda transportadora de llanta	14
Figura 1.2 Banda transportadora, prensa vulcanizadora, banda de descarga y llantas en espera en una línea de producción de vulcanizado de llantas (ver descripción en la Tabla 1.1)	15
Figura 1.3 Layout de la línea de producción (Trinchera 4)	17
Figura 1.4 Ubicación de los sensores en la banda transportadora para detección de las llantas	18
Figura 1.5 Sistema de conexión entre la red de los PLC's de las prensas vulcanizadoras y el PLC de control de la banda transportadora	19
Figura 1.6 Bosquejo de la interconexión entre el PLC y la banda transportadora	19
Figura 3.1 Diagrama de flujo del proceso realizado por el PLC que controla las Bandas transportadoras.....	24
Figura 3.2 Motor de la banda trasportadora M1 con reductor de velocidad	25
Figura 3.3 Diagrama de flujo del proceso realizado por el PLC que controla las bandas de descarga de las prensas de vulcanización	26
Figura 3.4 Actuador neumático utilizado en las bandas de descarga	27
Figura 4.1 Pantalla de aplicación desarrolla en InTouch [®] , para la simulación del control de las bandas de descarga y la bandas transportadoras	40
Figura 5.1 Diagrama del hardware requerido	44
Figura 5.2 Conexión física de la red	45
Figura 5.3 Pantalla principal del RSLogix 500	47

Figura 5.4 Pantalla principal del RSLinx, configurado para la comunicación de entre la PC y el PLC	48
Figura 5.5 Pantalla principal del InTouch, con la aplicación de simulación del control de las bandas de descarga y de las bandas transportadoras	49
Figura 5.6 Tabla de rutas del Digi, para la comunicación con las prensas	50
Figura 5.7 Descripción de la instrucción MSG	52
Figura 5.8 Diagrama de la rutina SEC_ENCEND, con la lógica de encendido de motores de las bandas de transporte	55
Figura 5.9 Diagrama de la rutina BAND_DESC, con la lógica de control de activaciones de las bandas de descarga	57
Figura 5.10 Diagrama de las rutinas COUNT_GATE y SENS_STOPG, con la lógica de los registros de activación de los StopGates	59
Figura 5.11 Diagrama de la rutina PANEL, con la lógica de interfaz operador-máquina	60
Figura 5.12 Diagrama de la rutina SEGURIDAD1	61
Figura 5.13 Diagrama de la rutina T_WAIT_MAX, para el tiempo de espera en la atención de las bandas	62
Figura 5.14 Diagramas de las rutinas FOTOCELDAS y PEGAS_BAND, para el control de los atascamientos y traslapes de llantas.....	64
Figura 5.15 Diagramas de la rutina CTRL._DE_M8, para la petición de autorización a la Trinchera 3	65
Figura 5.16 Diagrama de la rutina CONFIR_CTR, para la confirmación de activación del sistema	67

Figura 5.17 Diagrama de la rutina SEC_APAGADO, para el control de apagado de los motores de las bandas transportadoras	68
Figura 5.18 Diagrama de la rutina COM, para la comunicación de las prensas vulcanizadoras con el PLCA.....	70
Figura 5.19 Diagrama de la rutina COM, para la comunicación de las prensas vulcanizadoras con el PLC	71
Figura 6.1 Diagrama de conexión delta de 3 fases y 3 hilos, para medición de consumo de potencia eléctrica con el HIOKI 3196	74
Figura 6.2 Gráfica de potencia trifásica(MW) versus tiempo(s), con el sistema de dosificación antiguo, para una hora de medición con el HIOKI 3196	74
Figura 6.3 Gráfica de potencia trifásica(MW) versus tiempo(s), con el sistema de dosificación nuevo, para una hora de medición con el HIOKI 3196	75
Figura 6.4 Gráfica de potencia trifásica(W) versus tiempo(s), con el sistema de dosificación antiguo, para una hora de medición, con los datos graficados en Microsoft Excel.....	76
Figura 6.5 Gráfica de potencia trifásica(W) versus tiempo(s), con el sistema de dosificación nuevo, para diez minutos de medición, con los datos graficados en Microsoft Excel	76
Figura 6.6 Pantalla principal de la interfaz entre el sistema de control y el operario, con control y visualización del proceso de activación y transporte de las bandas	79
Figura 6.7 Pantalla de activación de bandas de descarga, en modo manual.....	80
Figura 6.8 Pantalla de activación de bandas de transportadoras, en modo manual.....	80
Figura 6.9 Pantalla de emisión de alarmas del sistema	81

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Descripción de la distribución de las bandas transportados, las bandas de descarga y las prensas de vulcanización en una línea de producción de vulcanizado de llantas	16
Tabla 5.1 Descripción de las instrucciones más comunes del RSLogix 500	46
Tabla 5.2 Descripción de las rutas del Digi	51
Tabla 5.3 Descripción de las subrutinas del programa de control en RSLogix 500	53
Tabla 6.1 Mediciones realizadas en el sistema de dosificación de atención de bandas transportadoras y bandas de descarga antes de realizar los cambios en el programa del PLC	72
Tabla 6.2 Mediciones realizadas en el sistema de dosificación de atención de bandas transportadoras y bandas de descarga después de realizar los cambios en el programa del PLC	73
Tabla 6.3 Datos obtenidos al realizar la integración de la potencia con respecto al tiempo de ambos sistemas	77
Tabla 6.4 Tarifas y costos del Kwh para los distintos periodos de horarios, para temporada alta, según la publicación número 76 alcance número 18 de la Gaceta, vigente el 21 de abril del 2008	78

Capítulo 1: Introducción

En este capítulo se pretende explicar o justificar el proyecto, detallando aspectos como el origen del problema a resolver y la importancia de su solución. Además se hará breve referencia, a la técnica utilizada para la solución del problema.

1.1. Problema existente e importancia de su solución

Inicialmente Bridgestone Firestone de Costa Rica S.A. (Firestone) fabricaba 425 llantas diarias, sin embargo por la gran demanda y por la calidad de las mismas se han visto en una creciente producción, llegando actualmente a más de 12000 llantas diarias, por lo que se hace necesario que los equipos de producción se encuentren encendidos los siete días de la semana y las 24 horas del día.

El continuo y apresurado crecimiento de Firestone ha hecho que en algunas partes de la línea de producción no se haya planificado en forma eficiente, lo que genera un consumo de energía innecesaria para la empresa. Como por ejemplo el caso de la banda transportadora que se muestra en la figura 1.1, la cual es una de las cinco bandas que conforman la línea de producción del vulcanizado de llantas. A esta banda transportadora la suplen las prensas vulcanizadoras (ver figura 1.2), de las cuales cada una posee su propio sistema de control, mediante un PLC (Programmable Logic Controller).



Figura 1.1 Banda transportadora de llantas

(Fotografía tomada en Bridgestone Firestone de Costa Rica)

Las bandas transportadoras siempre se encuentran funcionamiento, haya o no llantas para transportar, ya que su control es independiente de lo que se esté produciendo en cada prensa vulcanizadora y de si se están produciendo o no.

Debido a que PLC's que controlan a las prensas vulcanizadoras no poseen una lógica de programación conjunta, o sea, que entre ellos no hay comunicación lógica aunque si física, no se logra la unificación de todo el sistema que conforma la línea de producción. Dadas las circunstancias anteriores, las bandas transportadoras pasan la mayor parte del tiempo sin transportar llantas.

Actualmente, para garantizar que todas las llantas serán transportadas, las bandas transportadoras no se detienen, excepto en casos especiales de seguridad del operador o de la máquina. Además para el control de los actuadores (neumáticos) del las bandas descarga, en el que existe un sistema de dosificación, con el cual se logra que las llantas no caigan unas encima de otras mientras son transportadas, sin embargo se hace por tiempo y sin tomar en cuenta las condiciones en las que se encuentran las prensas vulcanizadoras.

Agregado a estas deficiencias, el sistema actual no toma en cuenta cuando una de las máquinas no tiene llantas para descargar o cuando alguna está detenida, generando así un consumo de potencia (eléctrica y neumática) innecesario.

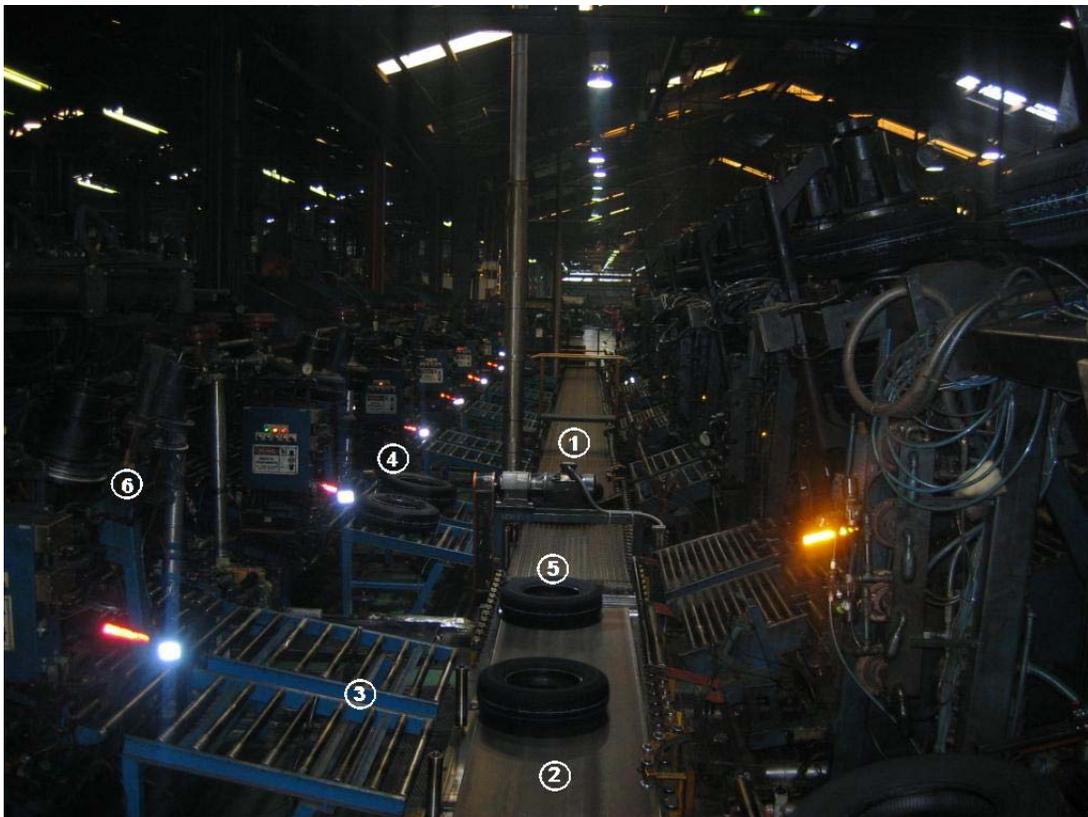


Figura 1.2 Banda transportadora, prensa vulcanizadora, banda de descarga y llantas en espera en una línea de producción de vulcanizado de llantas (ver descripción en la Tabla 1.1). (Fotografía tomada en Bridgestone Firestone de Costa Rica)

A continuación se presentará una tabla con la descripción de cada uno de los números señalados en la figura 1.2

Tabla 1.1 Descripción de la distribución de las bandas transportadas, las bandas de descarga y las prensas de vulcanización en una línea de producción de vulcanizado de llantas

N°	Descripción	Función
1	Primer sección de la banda transportadora	Transportar las llantas desde el inicio de la trinchera hasta la segunda banda
2	Segunda sección de la banda transportadora	Transportar las llantas hasta los puntos de inspección
3	Banda de descarga sin llantas	Esperar que haya llantas para descargar en las bandas
4	Banda de descarga con llantas	Colocar las llantas en las bandas transportadoras
5	Llantas transportándose	Traslación de un punto a otro dentro de la planta
6	Prensa vulcanizadora	Cocinar la llanta verde

Para los distintos tamaños y diseños de llantas existen 5 líneas de producción, de las cuales algunas tienen más de una banda transportadora, dependiendo de la distancia que se requiera para la traslación de las llantas. Cada línea de producción o trinchera (denominado con ese nombre por el personal de Firestone), cuenta con características similares en cuanto tiempos de espera, programación de los PLC's, activación de las bandas de descarga y tiempos de vulcanizado, por lo que se hace necesario desarrollar un sistema más eficiente de control para una de las líneas de producción y tomarlo como la primer etapa de unificación de las líneas de producción de vulcanizado de llantas.

1.2. Solución seleccionada

Lo que se quiere desarrollar es un sistema de control para la automatización de una de las líneas de producción de Firestone (trinchera 4), para lo que hace necesario realizar un modelo del sistema, ya que se analizarán las características que deben satisfacer las bandas transportadoras y las bandas de descarga. Así como establecer todos los parámetros que influyen en dicho sistema para orientar el diseño del control automático electrónico, recurriendo a la utilización de un PLC como herramienta de implementación.

En la figura 1.3 se presenta el layout de las prensas vulcanizadoras y de cada uno de las secciones que la conforman. En donde se observa que esta línea de producción es accedida por seis prensas, desde la NAF80 a la NAF85, cada una con su respectiva banda de descarga. Para la traslación de las llantas son requeridas ocho secciones de bandas transportadoras (desde la M1 a la M8), lo que significa que son requeridos ocho motores AC trifásicos y el control de los mismos.

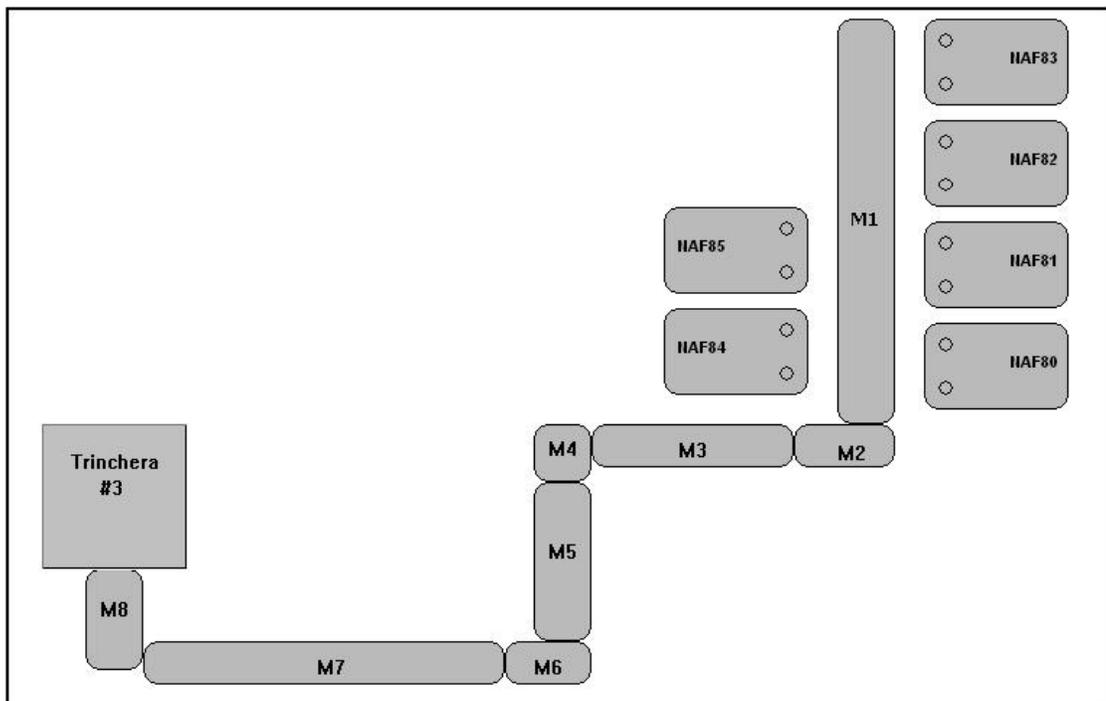


Figura 1.3 Layout de la línea de producción (Trinchera 4)

La parte descrita corresponde a la trinchera 4, la cual por ubicación dentro de la planta, descarga las llantas en las bandas transportadoras de la trinchera 3 y de ahí se canalizan hasta los puntos de calidad e inspección.

Cada una de las bandas transportadoras posee un sensor óptico, con el fin de brindar una solución que contemple más variables del proceso y así determinar la dosificación adecuada de la banda, además de contemplar algunas condiciones de seguridad, tal como se muestra en la figura 1.4, los mismos servirán para determinar cuando han llegado las llantas a su destino final, en la mencionada línea, por lo que en la propuesta se buscará integrar estos sensores para determinar el debido funcionamiento de la banda.

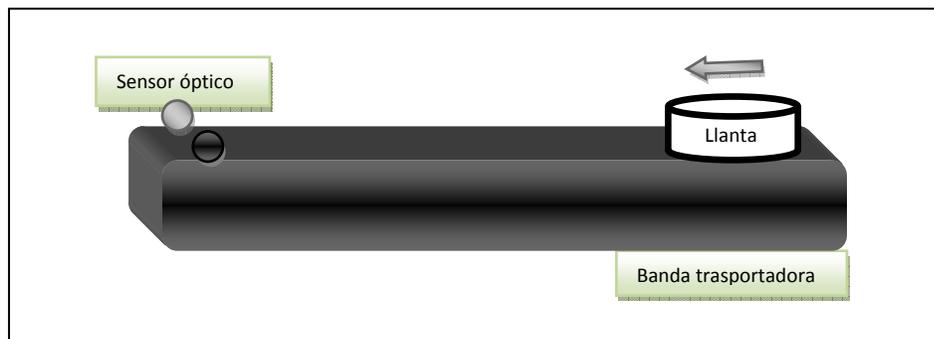


Figura 1.4 Ubicación de los sensores en la banda transportadora para detección de las llantas

Además de las condiciones de los sensores de las bandas transportadoras se determinará el comportamiento de las prensas vulcanizadoras y de los sensores de cada una de las bandas de descarga en cada ciclo de las mismas, así como cada uno de sus estados, ya que el control de las mismas se lleva a cabo mediante un PLC, por lo que se hace necesario establecer la forma en que han sido programados y determinar la eficiencia de los mismos.

Es preciso que los PLC's que se encuentran en la línea de producción sean sincronizados e intercomunicados con el PLC que controlará la banda transportadora, para que se pueda dar la comunicación serial por medio de la interfase Ethernet. Un diagrama de bloques que describe es sistema se muestra en la figura 1.5

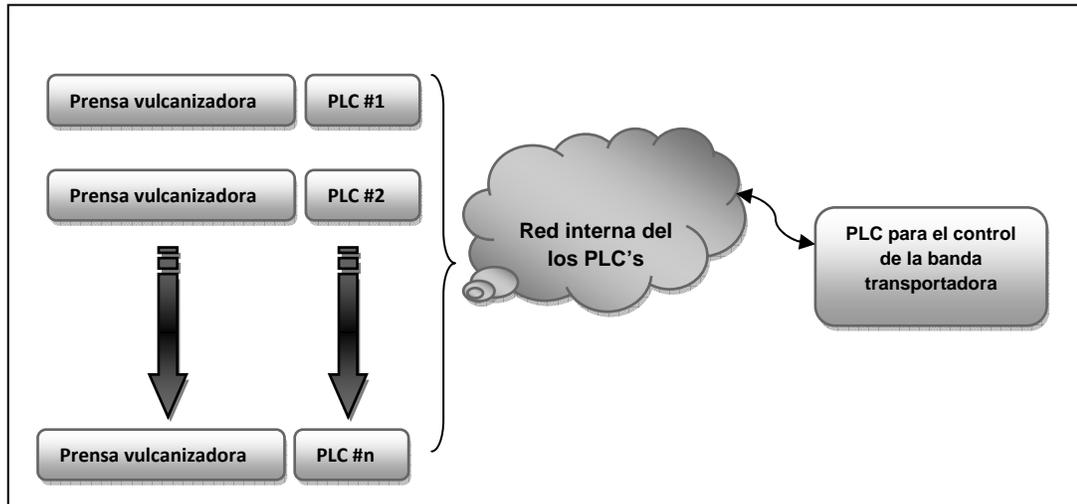


Figura 1.5 Sistema de conexión entre la red de los PLC's de las prensas vulcanizadoras y el PLC de control de la banda transportadora.

Finalmente se realizará la interconexión entre el sistema de control (PLC) y el circuito de potencia que maneja cada una de las bandas transportadoras, tal como se muestra en la figura 1.6

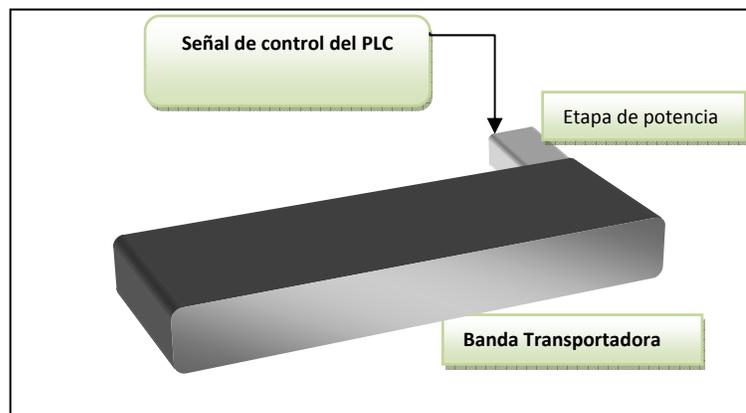


Figura 1.6 Bosquejo de la interconexión entre el PLC y la banda transportadora

Capítulo 2: Meta y objetivos

2.1 Meta

Lograr la disminución en el consumo de energía, mediante la automatización de las bandas transportadoras y las bandas de descarga, en la línea de producción de vulcanizado de llantas.

Indicador: La disminución de un 50% en el consumo de energía actual.

2.2 Objetivo general

Implementar un sistema electrónico que pueda controlar de manera automática y en tiempo real las bandas transportadoras y las bandas de descarga, para reducir el consumo energético, en una línea de producción de Firestone (trinchera 4).

Indicador: Cada vez que una banda de descarga se active debe tener al menos una llanta para descargar (en condiciones de funcionamiento automático y una vez transcurrida la etapa de inicialización), además se reducirá el tiempo de encendido de los motores en al menos un 50%.

2.3 Objetivos específicos

2.3.1 Objetivos de hardware

- Diseñar una red Ethernet TCP/IP para la sincronización e intercomunicación entre los PLC's de las prensas vulcanizadoras, el PLC que controla las bandas transportadoras y los sensores de cada banda transportadora.
- Analizar contra requerimiento y de ser necesaria la inserción de más sensores en las bandas transportadoras o en las bandas de descarga.

2.3.2 Objetivos de software

- Configurar la red Ethernet TCP/IP para la sincronización de los PLC's.
- Configurar la red DeviceNet para la sincronización de los sensores.
- Programar rutinas de arranque y paro de las bandas de transportadoras, con secuencias determinadas.
- Programar rutinas de activación de los actuadores de las bandas de descarga.
- Programar rutinas para el muestreo de los sensores tanto de las bandas de descarga como de los de las bandas transportadoras.
- Programar rutinas con las condiciones de seguridad requeridas por la empresa para el buen funcionamiento de las maquinas y para la protección de los operarios.
- Programar rutinas que evitan conflictos cuando se necesitan transportar y descargar llantas al mismo tiempo.
- Programar rutinas para detección de llantas pegadas, bandas llenas o llantas traslapadas.
- Programar rutina para el control de confirmaciones de activación de motores
- Desarrollar una aplicación grafica en Wonderware[®] InTouch[®] para la previa simulación de la automatización del proceso.
- Desarrollar una interfaz de usuario MMI (Man-Machine interface), para una pantalla digital (PanelView32).

2.3.3 Objetivos de documentación

- Elaborar un informe con el análisis estadístico (de utilización), del sistema antes y después de los cambios, en las bandas de transporte y las bandas de descarga, en la línea de producción de vulcanizado de llantas en Firestone..
- Documentar todas las subrutinas desarrolladas en RSLogix™ de Allen-Bradley SLC™ 500 para el PLC.

2.3.4 Objetivos de implementación

- Integrar en una red común los PLC's de la trinchera 4

Capítulo 3. Marco teórico

En este capítulo, se tratarán los distintos temas o conceptos conexos con el desarrollo del proyecto. Se incluyen los diagramas de flujo que muestran la secuencia de las etapas seguidas por el proceso a desarrollar y las referencias necesarias para el entendimiento de las partes que constituyen la solución propuesta.

3.1 Descripción del sistema o proceso a mejorar

3.1.1 Bandas transportadoras (Conveyors)

Como se ha mencionado en secciones anteriores, el proceso de encendido de las bandas es llevado a cabo una única vez y estas permanecen encendidas hasta que se dé la activación de algún dispositivo de seguridad (Hongos de seguridad, cables de seguridad o disparos térmicos de los motores), o que sean apagadas por algún operador, algo que se da sólo por razones de mantenimiento. A continuación se muestra un diagrama con la descripción del proceso de encendido de las bandas transportadoras mediante el PLC que las controla.

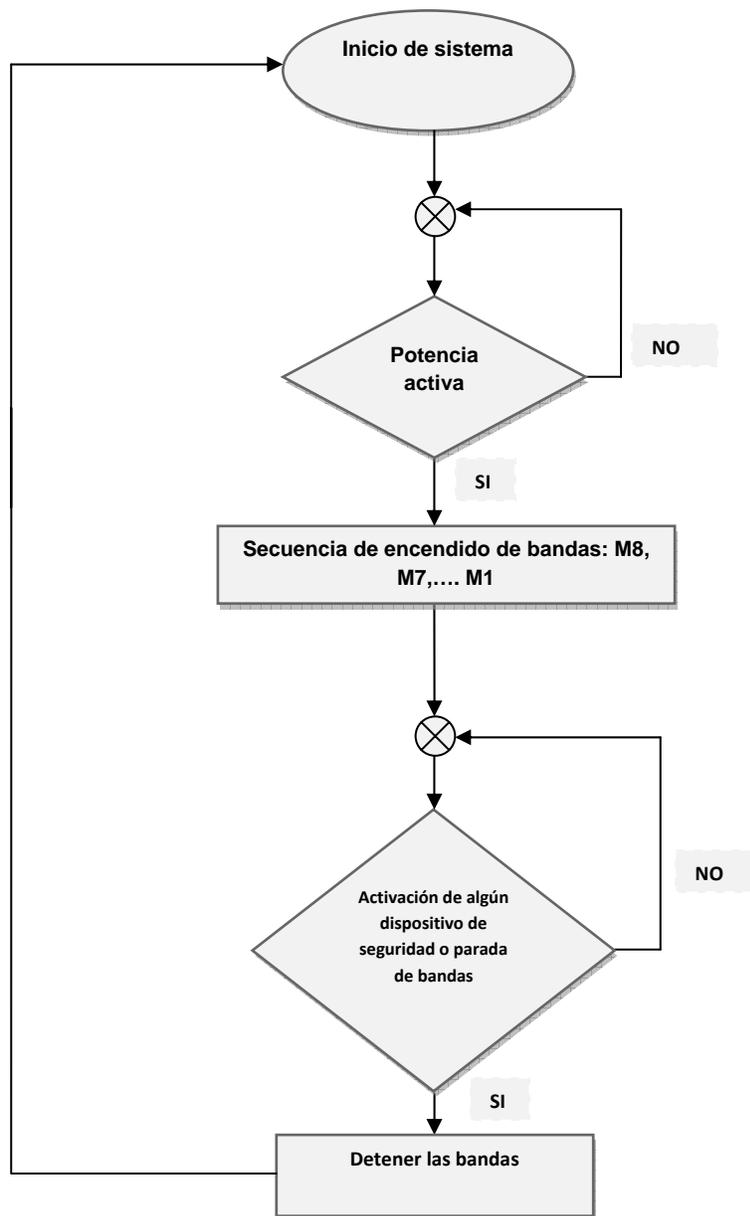


Figura 3.1 Diagrama de flujo del proceso realizado por el PLC que controla las bandas transportadoras.

En cuando a los motores AC de las bandas transportadoras lo que se tiene es un control convencional mediante contactores y reductores de velocidad como el que se muestra en la figura 3.2.



Figura 3.2 Motor de la banda transportadora M1 con reductor de velocidad tipo NMRV 130.

(Fotografía tomada en Bridgestone Firestone de Costa Rica)

3.1.2 Bandas de descarga

Así mismo, a continuación se describe el proceso de activación de las bandas de descarga de las prensas de vulcanización (ver figura 3.3). Este sistema consiste en brindar atención a cada una de las bandas, cada cinco minutos, empezando por la prensa NAF80 y terminando en la NAF85, una vez terminada la secuencia de atenciones a las bandas de descarga, el sistema reinicia los temporizadores y espera para el nuevo ciclo. Este sistema no toma en cuenta si hay llantas para descargar, o si las bandas transportadoras están detenidas.

Algunas de las señales de salida del PLC son enviadas a electroválvulas, para controlar los actuadores neumáticos (figura 4.4), para el posicionamiento de las bandas de descarga. Las señales son activadas con

una diferencia de siete segundos entre cada una, para evitar atascamientos y traslapes entre llantas.

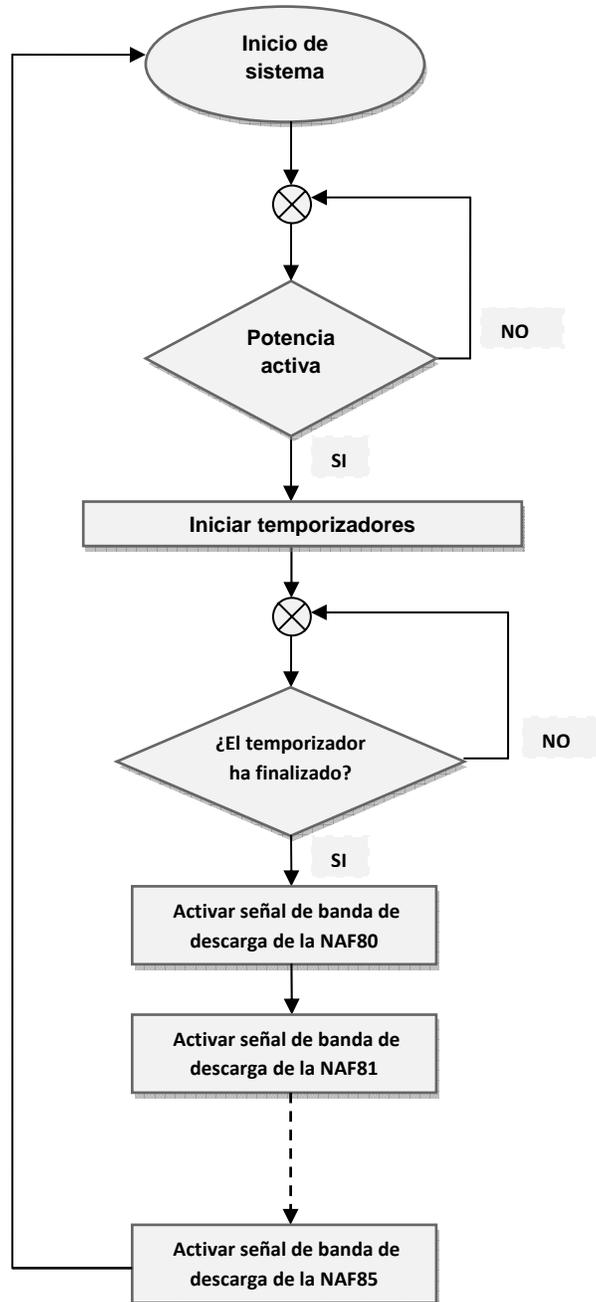


Figura 3.3 Diagrama de flujo del proceso realizado por el PLC que controla las bandas de descarga de las prensas de vulcanización.

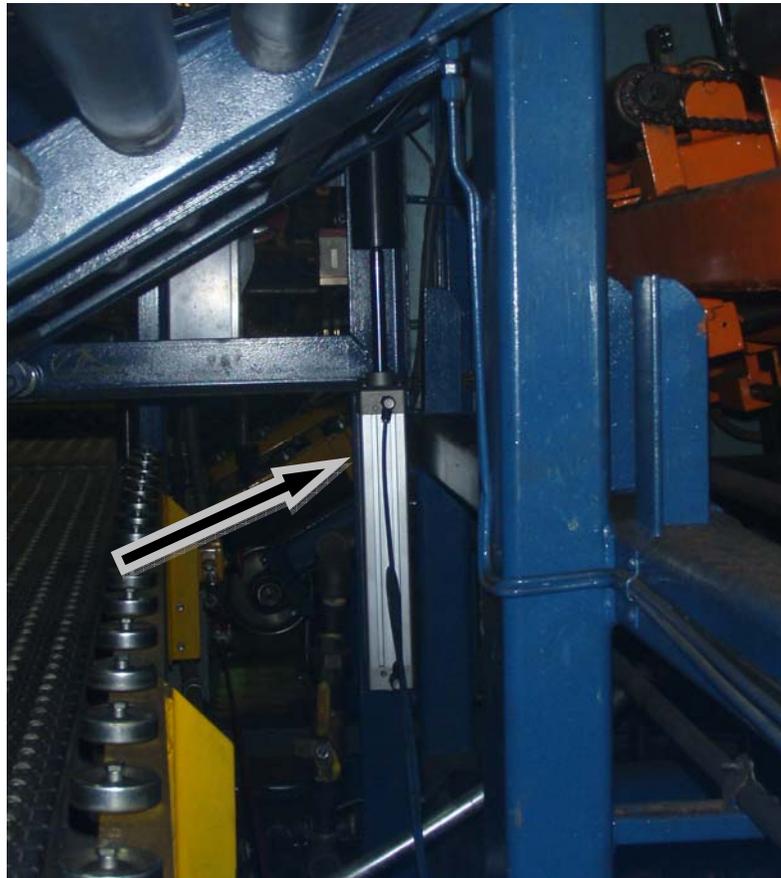


Figura 3.4 Actuador neumático utilizado en las bandas de descarga.
(Fotografía tomada en Bridgestone Firestone de Costa Rica)

3.2 Antecedentes Bibliográficos

3.2.1 Controlador lógico programable (PLC), ALLEN BRADLEY SLC 5/04¹

Es un controlador modular que brinda flexibilidad en programación, manejo de redes (Ethernet, DeviceNet, ControlNet, DH+ y RS-232) y módulos de E/S locales y remotos.

Potencia de control de proceso: una amplia gama de E/S analógicas así como instrucciones matemáticas y PID avanzadas.

Diseñado para aplicaciones industriales, con capacidad de soportar una amplia gama de temperaturas y condiciones de humedad, así como los más altos niveles de vibraciones y choque.

El RSLogix 500 es su software de programación, el cual maximiza la productividad mediante la simplificación del programa de desarrollo y solución de problemas.

3.2.2 Lenguaje de programación desarrollado para el PLC

El lenguaje de programación LADDER (escalera) permite la representación gráfica (según la normativa IEC-1131) del circuito de control de un proceso dado mediante el uso simbólico de contactos N.A. y N.C., temporizadores, contadores, registros de desplazamiento, relés, etc.

El programa en lenguaje LADDER, es realizado y almacenado en la memoria del PLC. El PLC lee el programa LADDER de forma secuencial (hace un scan o barrido), siguiendo el orden en que los renglones (escalones de la escalera) fueron escritos, comenzando por el renglón superior y terminando con el inferior. En este tipo de programa cada

Rockwell Automation, "Descripción general del sistema, Allen-Bradley" [en línea].
<http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/so/1747-so001_-es-p.pdf> [Consulta: 7 de noviembre de 2008]

símbolo representa una variable lógica cuyo estado puede ser verdadero o falso. Dispone de dos barras verticales que representan a la alimentación eléctrica del diagrama; la barra vertical izquierda corresponde a un conductor con tensión y la barra vertical derecha corresponde a la tierra o masa².

3.2.3 Bus DiveceNet

Es una red de control que conforma el primer nivel básico en integración de dispositivos de campo industriales (tales como: interruptores de límite, sensores fotoeléctricos, unidades de válvulas múltiples, arrancadores de motores, sensores de proceso, variadores de frecuencia, e interfaces de operador, entre otros) conectados a una red de trabajo.

Su conexión es directa, que proporciona comunicación más segura entre dispositivos, requiere de menor cableado, menor costo e integra diversos dispositivos autómatas, la cual proporciona la habilidad de intercambio de componentes de distintos fabricantes de dispositivos industriales.

Características³:

- Tamaño de la red de hasta 64 nodos
- Paquetes de datos de 0 a 8 bytes
- Topología de bus con señal y alimentación en el mismo cable de red
- Con dirección de bus de dispositivo a dispositivo con multireparto de datos

² Ver documento [1] citado en la bibliografía

³ ELECTRICA AB, S.A DE SV , “Redes de comunicación abiertas industriales” [en línea].
<http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/so/1747-so001_-es-p.pdf> [Consulta: 7 de noviembre de 2008]

- Distancia máxima de 100 m a 500 m, con velocidades de 125, 250 y 500 Kbps
- Reemplazo automático de nodos, no requiere de programación y elevado nivel de diagnóstico.

3.2.3 Red Ethernet⁴

Ethernet (también conocido como estándar IEEE 802.3) es un estándar de transmisión de datos para redes de área local, utilizado por su aceptable velocidad y bajo coste. Admite distintas velocidades según el tipo de hardware utilizado, siendo las más comunes 10 Mbits/s y 100 Mbits/s (comúnmente denominadas Ethernet y Fast Ethernet respectivamente). Se basa en el principio de que todos los equipos en una red Ethernet están conectados a la misma línea de comunicación compuesta por cables.

La comunicación se lleva a cabo por medio de la utilización un protocolo denominado CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access with Collision Detect que significa que es un protocolo de acceso múltiple que monitorea la portadora: detección de portadora y detección de colisiones).

Con este protocolo cualquier equipo está autorizado a transmitir a través de la línea en cualquier momento y sin ninguna prioridad entre ellos

3.2.4 Sensores fotoeléctricos

Los sensores fotoeléctricos son dispositivos electrónicos que responde al cambio en la intensidad de la luz. Estos sensores requieren de un componente emisor que genera la luz, y un componente receptor que “ve” la luz generada por el emisor.

⁴ Wikipedia, la enciclopedia libre , “Ethernet” [en línea]. <<http://es.wikipedia.org/wiki/Ethernet>> [Consulta: 4 de noviembre de 2008]

Los sensores utilizados en el desarrollo del proyecto son los 42GRU-9002 de Allen-Bradley de la serie 9000, con una tensión de alimentación de 70/264 VAC/CD, un rango de sensibilidad de 51mm-9.1m y salida de tipo relay⁵.

3.3 Descripción de los principales principios físicos, de software y/o electrónicos relacionados con la solución del problema

Seguidamente se presentan los principios físicos, de software y/o electrónicos que se relacionan con la optimización del proceso de descarga y transporte para la reducción del consumo energético en una de las líneas de producción de vulcanizado de llantas, pues al conocer el comportamiento particular de estos se puede desarrollar la simulación del proceso sobre los datos reales.

3.3.1 Diagramas de flujo y secuenciales

Un diagrama de secuencial es uno de los diagramas más efectivos para modelar interacción entre objetos en un sistema, empleado en muchos campos para mostrar los procedimientos detallados que se deben seguir al realizar una tarea, como un proceso de fabricación. También se utilizan en la resolución de problemas, como por ejemplo en algoritmos el cual muestra gráficamente los pasos o procesos a seguir para alcanzar la solución de un problema.

Los diagramas de flujo se usan normalmente para seguir la secuencia lógica de las acciones en el diseño de programas de computadoras, de esta forma se logra dar un seguimiento de los datos, las transformaciones y el almacenamiento de los mismos.

⁵ Ver anexo A.1 y [6] de la bibliografía

3.3.2 Motores trifásicos

El movimiento de las bandas transportadoras es generado por motores de inducción trifásicos, por lo que se dará una breve descripción de su constitución y funcionamiento.

Un motor trifásico se podría definir como:

“Una máquina que tenga solamente el devanado amortiguador se denomina máquina de inducción, y se llama así porque el voltaje del rotor (que a su vez produce la corriente y el campo magnético del rotor) es inducido en el devanado del rotor sin que existan conexiones físicas por medio de conductores. Un motor de inducción se distingue porque no necesita de corriente de excitación de cc para funcionar. Hay dos tipos diferentes de rotores para motores de inducción. Uno se conoce como rotor de jaula de ardilla o simplemente rotor de ardilla y el otro como rotor devanado.

...Un rotor jaula de ardilla de un motor de inducción consiste en una serie de barras conductoras colocadas dentro de unas ranuras hechas en la superficie del rotor con sus extremos puestos en cortocircuito por medio de anillos....

El otro tipo de rotor es el denominado rotor devanado, que tiene un arrollamiento trifásico completo que es una imagen reflejada del devanado del estátor. Las tres fases del arrollamiento de este rotor, usualmente se conectan en Y sus extremos se conectan a unos anillos rozantes montados en el eje.”⁶

Los motores de inducción trifásicos son de los principales consumidores de energía eléctrica en el mundo, por lo que se hace necesario el buen funcionamiento, control y aprovechamiento de sus aplicaciones en la industria.

⁶ Ver páginas 481 a 483 del documento [5] citado en la bibliografía.

3.3.3 Unidad de control

La unidad de control empleada en el desarrollo del proyecto es la SLC 5/04 de la serie 500 Allen-Bradley. Este dispositivo genera las acciones necesarias de control, con base a las condiciones de los sensores de entrada y de los procesos propios de su programación. Para tal objetivo, cuenta con entradas y salidas (tipo relevador).

De la unidad de control se pueden destacar tres de las partes más importantes que la componen: El CPU, sección de I/O y fuente de alimentación.

El CPU (Unidad central de procesamiento) es la parte más importante ya que realiza el control de información, de datos, de coordinación de todas las partes de la unidad de control, realiza las operaciones necesarias como aritméticas, lógicas y de comparación o relacionales, ejecuta las instrucciones programas y realiza las rutinas referentes al uso de memoria.

La sección de I/O (Entradas/Salidas) sirve al controlador para obtener información del mundo exterior y/o comunicar los resultados generados al exterior. Las entradas son señales recibidas por la unidad, mientras que las salidas son señales enviadas por ésta.

La fuente de alimentación es la que convierte la señal de entrada de corriente alterna (AC) en corriente directa (DC) para energizar el PLC y sus módulos correspondientes de salida, no obstante en dispositivos que representen cargas energéticas altas se recomienda utilizar fuentes externas de alimentación para evitar que las salidas del PLC sean quemadas.

3.3.4 Potencia y energía

La energía es la capacidad que se necesita para ejecutar acciones externas, o sea, es la materia prima que se requiere para realizar trabajo. Teóricamente la palabra trabajo es el producto de multiplicar fuerza por distancia. Por ejemplo, si se eleva un cuerpo que pesa un kilogramo a una altura de un metro, el trabajo realizado es numéricamente igual a un kilogramo-metro. Por su parte, el trabajo realizado en un determinado tiempo se define como potencia.

Numéricamente, la potencia es el trabajo por unidad de tiempo, y puede ser expresada como kilogramo-metro por segundo, por minuto o por hora. La potencia eléctrica suele medirse en vatios (W), kilovatios (kW), megavatios (MW), etc. Entonces la potencia es transferencia de energía por unidad de tiempo. La potencia puede ser medida en cualquier instante de tiempo, mientras que la energía debe ser medida durante un cierto periodo (un segundo, una hora o un año).

La energía puede también ser convertida en una forma eléctrica, con un elemento que mueve un flujo de electrones, o sea, corriente eléctrica. La medida normal para la energía eléctrica es el watt-hora (Wh). Como 1 Wh es una unidad pequeña, más a menudo se usa el kilowatt-hora (kWh). Por su parte, 1 J es igual a 1 Nm y 1 W es igual a 1 Nm/s (trabajo por unidad de tiempo). Un watt-hora (Wh) es por tanto 3 600 watt-segundo ($60 \times 60 = 3\,600$ segundos por hora). Como resultado de esto, 1 Wh es igual a 3 600 J y 1 kWh es igual a 3 600 000 J. En el Sistema Internacional, un millar de veces se toma con el prefijo Kilo y un millón de veces se convierte en Mega. De aquí que $1 \text{ kWh} = 3,6 \text{ MJ}$ (un kilowatt-hora es igual a 3,6 mega joule).

Por lo tanto, la potencia se expresa en watt (W) o kilowatt (kW) y la energía se expresa en watt-hora (Wh) o kilowatt-hora (kWh), siendo importante especificar en qué período de tiempo se consumió o produjo la energía, es

decir, si es diaria, mensual o anual. El Kilovatio-hora es el que se usa generalmente para la facturación de la energía eléctrica.

3.3.5 Software de programación (RSLogix 500)

RSLogix 500, es un software de programación para autómatas que permite realizar programación en escalera, mediante nemónicos o por medio de la barra de instrucciones que permite atreves de pestañas y botones, acceder de forma más rápida a las instrucciones más habituales del lenguaje. En algunos casos, dependiendo de los dispositivos periféricos, es posible la programación en línea (modo run).

Capítulo 4. Procedimiento Metodológico

En este capítulo se describen las etapas del método de diseño en ingeniería, seguidas para llegar a la solución del problema. Primeramente, se hace alusión en la identificación del problema, información preliminar relevante, las restricciones, datos técnicos, además del alcance del mismo; así como el procedimiento para la determinación de la mejor solución.

4.1 Reconocimiento y definición del problema

El Departamento de Proyectos de Firestone, se encarga del estudio, generación, investigación, planificación, contratación, e implementación de proyectos, para optimizar los procesos existentes en la planta de operaciones. Como parte de la ideología y filosofía de Firestone es estar en constante cambio y en busca de mejoras, se comprometen con el cumplimiento de estándares, tanto de calidad como de preservación y cuidado del medio ambiente, así mismo en la reducción de consumo energético y por ende reducción en la emisión de dióxido de carbono.

De esta manera, el Departamento de Proyectos ha puesto en marcha diversos proyectos con el fin de reducir el consumo energético y optimizar ciertos procesos en las líneas de producción. De esta forma y con una serie de visitas a Firestone, en coordinación con el Ing. Marcelo Quintana Vargas, nace la propuesta para el desarrollo del presente proyecto. El cual se puede definir como la necesidad de hacer un análisis estadístico de utilidad, desarrollar la simulación de un control automático e implementar el control mediante el uso de un PLC como herramienta, además de realizar las interconexiones necesarias entre los dispositivos de control.

4.2 Obtención y análisis de información

La información, en cuanto al funcionamiento de la línea de producción fue dada inicialmente por el ingeniero a cargo en forma verbal, luego, en conjunto con algunos técnicos y de forma personal se obtuvo información más detallada.

El análisis de la información inició con la toma de datos de campo del funcionamiento actual (análisis de utilidad) de las bandas de descarga y de las bandas transportadoras, y de la función que cumplen estas como parte del proceso, además, la comprensión del proceso como un todo.

Posteriormente, se investigó el tipo de tecnología empleada por la empresa para recabar información de los equipos y sus datos técnicos, a través de Internet, además del tipo de programación requerido para cada uno de ellos y la posible interconexión entre ellos.

De los puntos importantes a tomar, es que el costo del proyecto es relativamente bajo, ya que se cuenta con la mayoría de los recursos requeridos para el desarrollo del mismo y con el análisis de utilidad se determinó que el consumo de energía se puede reducir a un 50% del consumo actual, por lo que se simplificó el proceso administrativo de aprobación del mismo.

4.3 Evaluación de las alternativas y síntesis de una solución

Desde la perspectiva del hardware requerido para la implementación, la reevaluación no tomó partida, ya que en primer instancia se cuenta con la mayoría del equipo requerido y en segundo plano la empresa busca unificar la planta bajo una misma marca de equipo electrónico, que en este caso para aplicaciones de control utilizan Allen-Bradley, por su buen desempeño en áreas de tipo industrial.

En cuando al software de programación, se tuvo la libertad de crear las rutinas según los mejores puntos a tomar, y de acuerdo con la eficiencia del proceso, además de tomar en cuenta las restricciones (propias del proceso) y sugerencias del asesor de la empresa.

Para socavar el mejor resultado de software, se realizaron exhaustivas pruebas de simulación, se evaluaron estrategias de control y se agregaron condiciones de seguridad del equipo y del personal que lo opera. Así mismo, en la elección de la mejor solución se tomaron en cuenta aspectos

como: el tiempo que permanecen los motores encendidos, tiempo necesario para transportar las llantas, tiempo de encendido entre motores, secuencia de encendido de motores, lógica de control en el transporte de llantas (para evitar obstrucciones en las bandas transportadoras, por llantas pegadas), secuencias de activación de las bandas de descarga, secuencia de apagado de motores, tiempo de curado de llantas, control de bandas de descarga (cero casos fallidos en activaciones de actuadores), seguridad y la temporización de todo el proceso.

4.4 Implementación de la solución

Para el desarrollo de la solución se perfilaron varias etapas, que consisten en investigación, toma de datos, desarrollo de ideas, implementación parcial, pruebas e implementación final.

En la etapa de investigación se establecieron los aspectos relacionados con las características electromecánicas, eléctricas, neumáticas, normas de seguridad en manipulación de equipos y estándares. De esta forma y con una visión del entorno del proyecto, se procedió con la toma de datos, para el control y sincronización del sistema. Y garantizando un lazo cerrado de control, recolectando la información requerida por los sensores y generando las activaciones o accionamientos correspondientes a la etapa de potencia.

Posteriormente, se desarrollaron las subrutinas encargadas del control de los motores de las bandas transportadoras y de los actuadores de las bandas de descarga, las cuales se desarrollaron utilizando una secuencia de pasos y algoritmos, con el fin de que la búsqueda de errores o fallas en el sistema en el momento de realizar la puesta en marcha fuese lo más fácil y transparente posible, para así la fase de depuración se agilice. Cada elaboración de una subrutina lleva consigo la simulación de la misma, para garantizar su buen funcionamiento.

Las simulaciones son desarrolladas en InTouch[®], software especializado en este tipo de aplicaciones industriales. Cabe mencionar que estas

aplicaciones son realizadas desde el PLC, por lo que en realidad lo que se simula son únicamente las entradas y salidas del sistema, ya que el control del proceso se genera en forma real. De este modo, se logran obtener resultados mediante una ayuda visual, tomando en cuenta retardos y tiempos de propagación propios del PLC; acercándose a un sistema más real.

Con el control lógico programable (PLC), se tienen ventajas adicionales según la implementación, ya que estos dispositivos poseen conector de RJ-45, para permitir conexión vía Ethernet a 10/100 Megabits Full Duplex o Half Duplex, según sea requerido. Con un diseño modular, el cual permite la expansión de tarjetas (rack's) y a su vez el incremento de entradas y salidas discretas, analógicas o módulos con algunas funciones especiales, asimismo de cuantiosos contadores, temporizadores, algunas funciones matemáticas y hasta de control, como el PID.

En la figura 4.1 se muestra la pantalla de una aplicación de la simulación, para el desarrollo del programa, en donde M1 indica el motor de la banda transportadora 1 y así sucesivamente hasta el motor M8. Nótese que los motores M8 y M7 se encuentran activados, al igual que las bandas de descarga de las prensas vulcanizadoras NAF81 y NAF83.

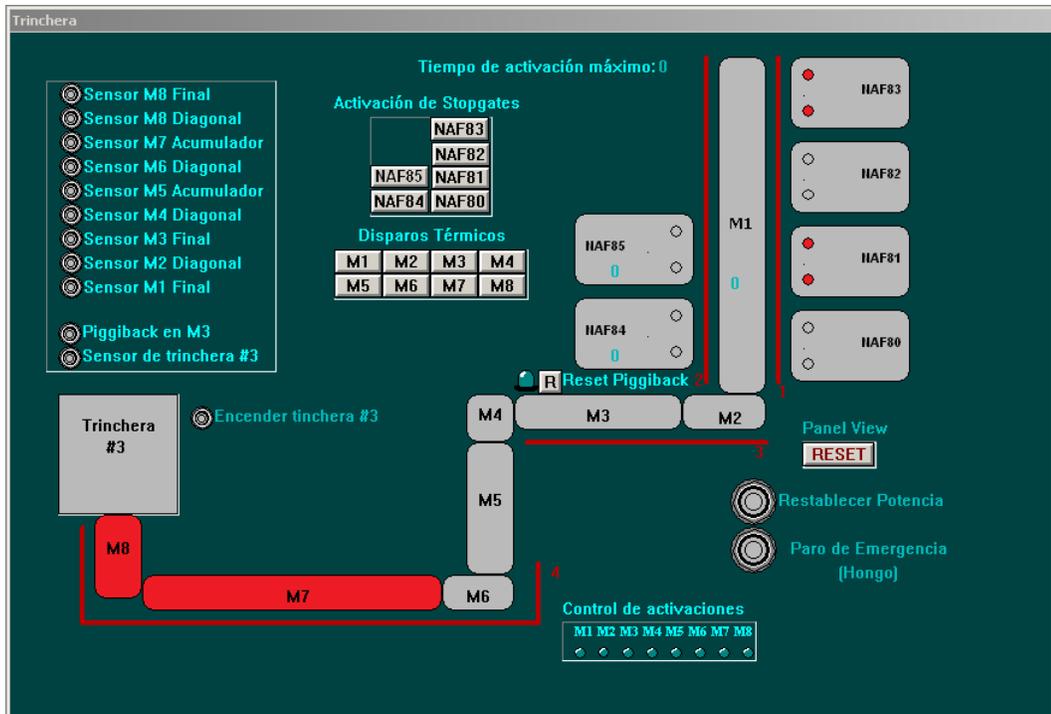


Figura 4.1 Pantalla de aplicación desarrolla en InTouch®, para la simulación del control de las bandas de descarga y la bandas transportadoras.

4.5 Reevaluación y rediseño

En caso de que ocurriera la necesidad de una mejora, es preciso recurrir a la documentación generada en el presente proyecto, con el fin de depurar algunos aspectos que no se tomaron en cuenta en el momento del diseño de las subrutinas, tales como la expansión de la línea de producción (más prensas), reubicación de sensores, cambios en los reductores de los motores, nuevos requisitos de seguridad, cambios en los tiempos de vulcanización, cambios de actuadores. La mayoría de mejoras estarán en función de los cambios que surjan en el ámbito de hardware, ya que el software está diseñado para que trabaje con el equipo utilizado actualmente.

Capítulo 5. Descripción de la solución

En este capítulo se expone detalladamente el análisis de las soluciones propuestas y de la selección de la mejor de ellas, así como sus principales características tanto del hardware como del software efectuado. Se utilizarán diagramas de los algoritmos empleados, con el fin de brindar un entendimiento más íntegro de lo que se ha desarrollado.

5.1 Análisis de soluciones y selección final

Como ya se ha mencionado en puntos anteriores, en cuanto a la escogencia del hardware no existe mucha posibilidad de elegir, ya que estas disposiciones son tomadas por el Departamento de Mantenimiento de Firestone, basados esencialmente en el buen desempeño, seguridad, adaptación a condiciones extremas y fácil integración de los equipos de control de procesos.

Como parte previa del desarrollo del software de implementación, necesario para la resolución del problema, fue preciso entender bien el funcionamiento del sistema, dando pie a un análisis de utilización de las bandas de descarga y a las bandas transportadoras, además de las secuencias necesarias y la temporización debida, lo que conllevó a más de una semana de muestreo visual para entender su funcionamiento.

Cada una de las rutinas del sistema de control de bandas de descarga y de las bandas transportadoras, en su estado presente, es dependiente de su estado anterior, por lo que el sistema en si posee una connotación secuencial, lo que lleva al desarrollo de diversos algoritmos en busca de la mejor solución para reducir el consumo de energía. Tal es así, que la base del proyecto es determinar el punto medio de un buen funcionamiento y el menor consumo de energía posible. Para lo que se hace necesario contar con dispositivos altamente calificados para esta labor, así como una buena configuración e interconexión de los mismos. El criterio utilizado para

determinar el mejor algoritmo de cada subrutina, en la mayoría de los casos, es el tiempo que tarde ejecutándose, así mismo, secuencias de activación de las salidas del PLC. Para esto se realizaban simulaciones de cada una de ellas y de la respuesta del sistema en general.

Una de las partes más importantes en la búsqueda de la solución, es la determinación de parámetros, estados, condiciones de sensores y actuadores, para el íntegro control de las señales de entrada y salidas del autómeta, por lo que se crean diagramas secuenciales con el fin depurar errores de lógica.

La ejecución de un algoritmo secuencial, en un PLC, se puede representar mediante el uso de diagramas Grafcet o secuenciales. El cual es funcional, describiendo la evolución del proceso que se quiere automatizar. Está definido por elementos gráficos y algunas reglas de evolución que reflejan la dinámica del comportamiento del sistema; estructurando una serie de etapas que representan estados o subestados del sistema, en los cuales una o más acciones, así como transiciones, que son las condiciones que deben darse para pasar de una etapa a otra. Garantizando el desarrollo de un sistema sistemático, con etapas claramente definidos y módulos más sencillos. Por lo que se representará cada subrutina de esta forma para su mayor comprensión.

5.2 Descripción del hardware

El proyecto, en su mayoría, consiste en la reestructuración del software existente. Actualmente se dispone de una plataforma de hardware que está dimensionada e instalada casi en su totalidad. No obstante se describirán las partes más importantes que conforman los equipos y dispositivos utilizados.

A continuación se presenta un diagrama general del hardware requerido

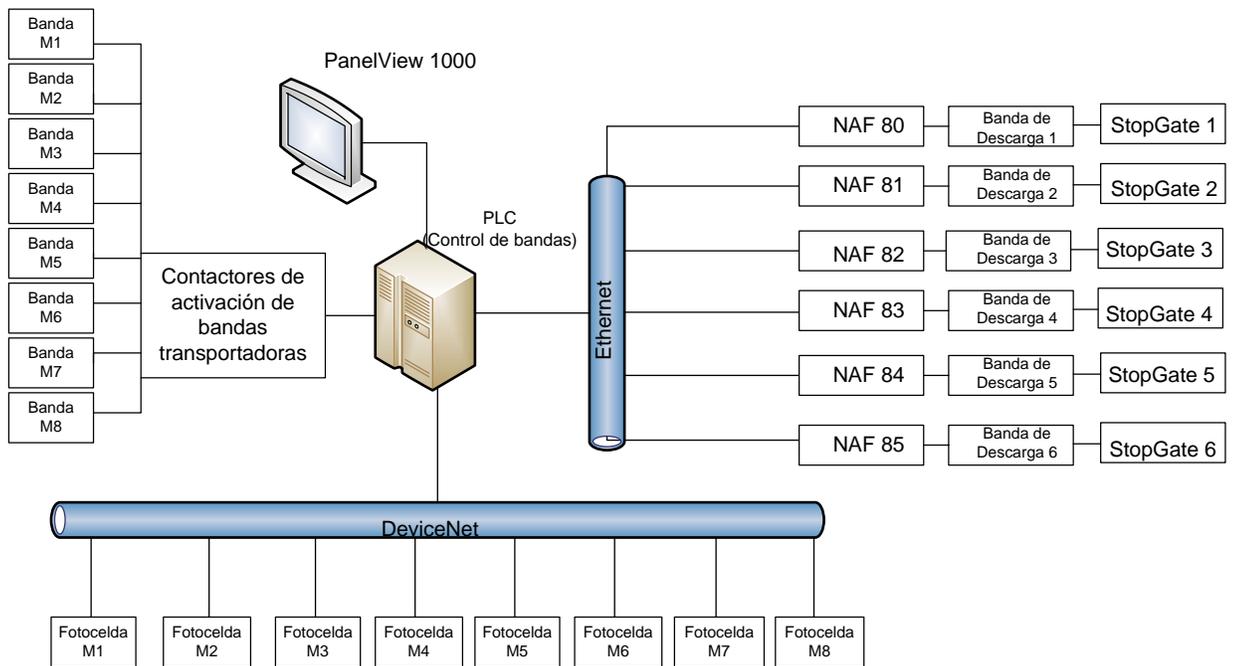


Figura 5.1 Diagrama del hardware requerido

Se tiene que cada banda representa un motor trifásico (descrito en una sección anterior), empezando por M1 y terminando con M8. El panel principal se compone del PLC, el PanelView, contactores, dispositivos de seguridad y algunos elementos de la red, como switches y un Digi (convertidor de serie a Ethernet), además de un conjunto de fotoceldas ubicadas estratégicamente, para el monitoreo del flujo de las llantas a través de las bandas transportadoras. Asimismo cada prensa vulcanizadora, desde la NAF80 a la NAF85 con su correspondiente banda de descarga y

sensores (StopGates), para el control de activaciones de las llantas listas para descargar.

Cada prensa o NAF posee su propio PLC, con el cual se comunica a través de un Digi con el panel principal, por lo que cada prensa es monitoreada para determinar en que estado de vulcanizado se encuentra y así establecer la acción correspondiente.

En la integración del sistema fue necesario el diseño de una red, para lograr la comunicación entre las prensas vulcanizadoras y el PLC que controla las bandas de descarga y las bandas transportadoras. Seguidamente se presenta el diagrama que conforma dicha red.

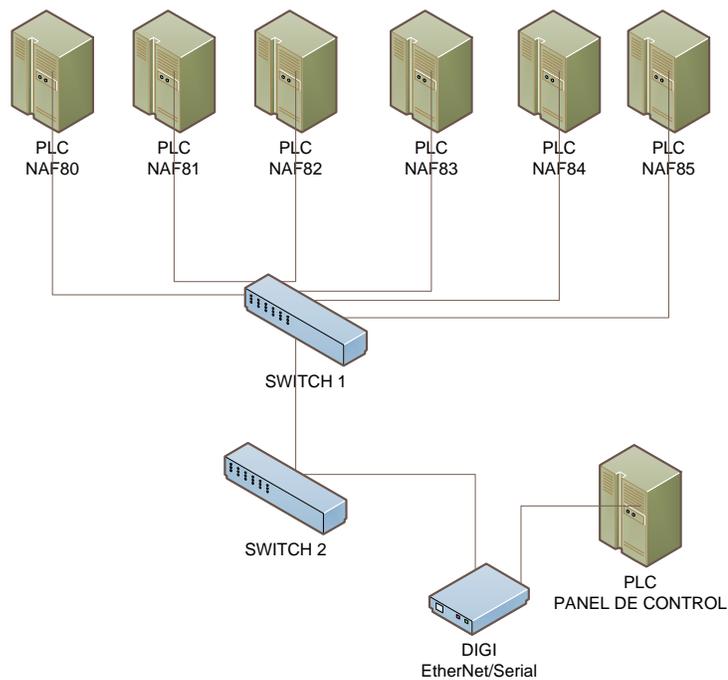


Figura 5.2 Conexión física de la red

5.3 Descripción del software

5.3.1 Descripción de los principales programas de computo utilizados

RSLogix 500

Es un software de programación para autómatas que permite realizar programación en escalera, mediante nemónicos o por medio de la barra de instrucciones, que permite atreves de pestañas y botones, acceder de forma más rápida a las instrucciones más habituales del lenguaje. En algunos casos, dependiendo de los dispositivos periféricos, es posible la programación en línea (modo run).

Se dice que su programación es escalera ya que al desarrollar rutinas sus instrucciones tienen forma de sucesión descendente. La ejecución del programa cuenta con tres recorridos para las instrucciones: el primero es el scan de instrucciones de entradas, el segundo, el scan de instrucciones de proceso y ejecución y por último se realiza el scan de salida.

La pantalla principal y algunas de las instrucciones para la edición de programas se describen a continuación,

Tabla 5.1 Descripción de las instrucciones más comunes del RSLogix 500

Nemónico	Descripción	Símbolo
	Nueva línea de trabajo	..H
	Bifurcación de línea de trabajo	□
XIC	Contacto normalmente abierto	∩ E
XIO	Contacto normalmente cerrado	∩/E
OTE	Activación de la variable	()
OTL	Activación de la variable de manera retentiva	()
OTU	Desactivación de la variable	()
ONS	Flanco ascendente	ONS
TON	Temporizador	TON
CTU	Contador ascendente	CTU
RES	Resetear	RES

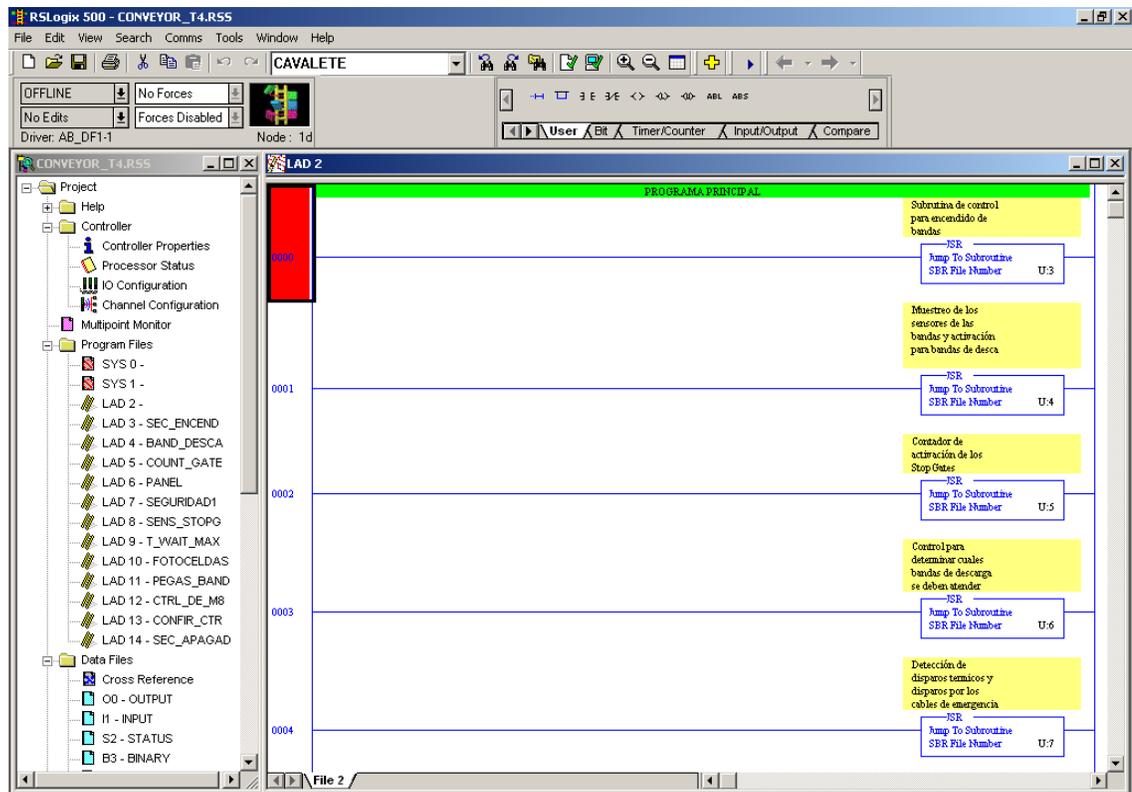


Figura 5.3 Pantalla principal del RSLogix 500

RSLinx

RSLinx es un servidor de comunicación desarrollado por Rockwell Automation, que brinda la conectividad entre los dispositivos de campo, a través de distintos protocolos de transmisión de datos, y los diferentes programas de visualización y control de procesos. Proporciona acceso a los controladores Allen-Bradley y a una gran variedad de aplicaciones de Rockwell Software, tales como RSLogix 500.

Seguidamente se presenta la pantalla principal del RSLinx,

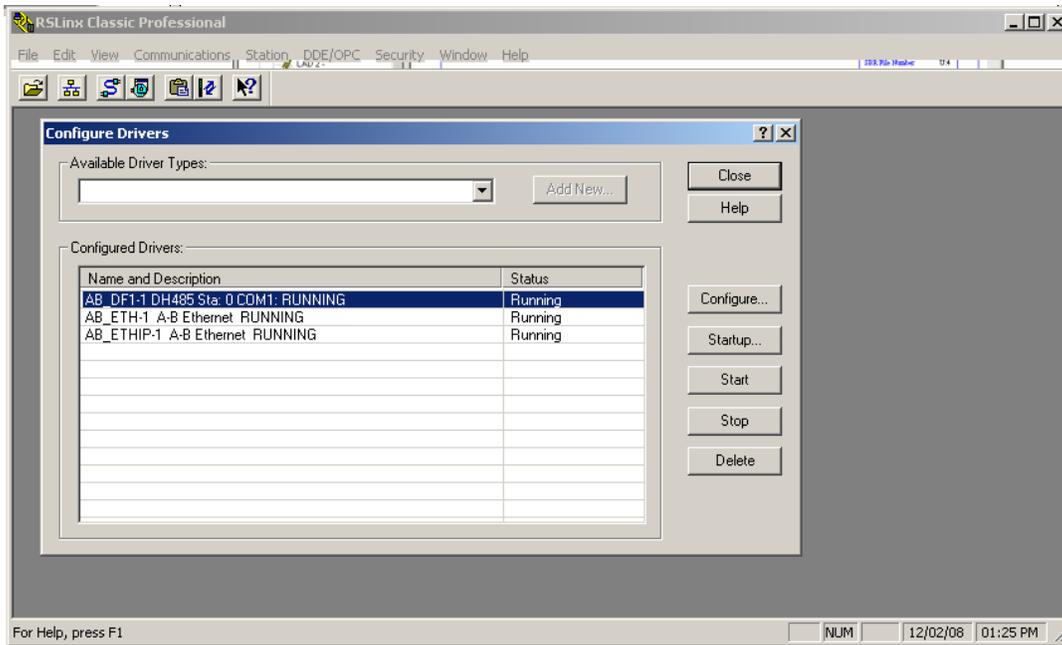


Figura 5.4 Pantalla principal del RSLinx, configurado para la comunicación de entre la PC y el PLC

InTouch®

InTouch de Wonderware, es uno de los principales ambientes de interfaz hombre-máquina, proporciona una visión integrada de todos los recursos de control e información. Permite una visualización e interacción de toda una operación a través de representaciones gráficas de procesos de producción. El poder y la facilidad de uso de InTouch disminuyen en gran forma el costo y tiempo asociados con el desarrollo y el mantenimiento de sistemas de interfaz para operador/MMI (Man/Machine Interface).

Algunas de sus principales características son:

Gráficos Orientados a Objetos: Las aplicaciones fáciles de configurar significan menores tiempos de desarrollo. Es posible mover, animar y modificar de objetos de manera fácil y rápida.

Vínculos de Animación: Es posible combinar vínculos de animación para lograr cambios complejos de tamaño, color, movimiento y/o posición.

Alarmas Distribuidas: Es la capacidad soporta múltiples proveedores o servidores de alarmas simultáneamente, dando la capacidad de visualizar información sobre alarmas a partir de múltiples ubicaciones remotas al mismo tiempo.

SuperTags: Son organizaciones jerárquicas de Tags (variables), que permiten el mapeo de dispositivos específicos del mundo real.

Seguidamente se presenta la pantalla principal para el desarrollo de aplicaciones en InTouch,

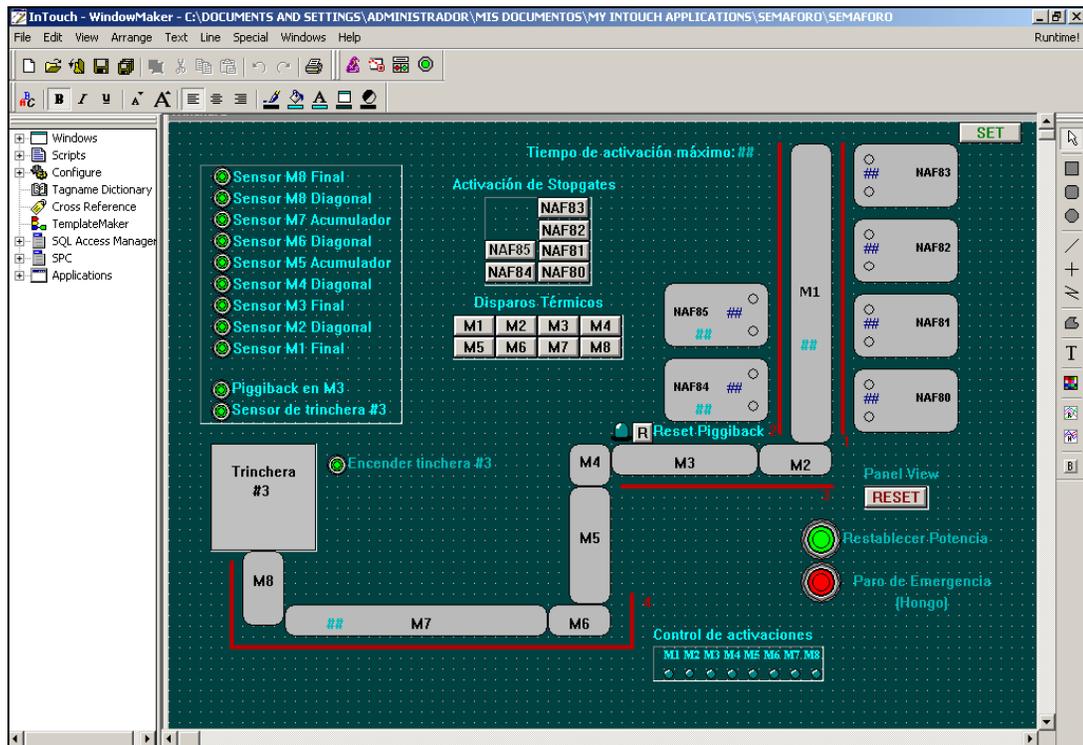


Figura 5.5 Pantalla principal del InTouch, con la aplicación de simulación del control de las bandas de descarga y de las bandas transportadoras.

PanelBuilder32

Es un software de aplicaciones para terminales PanelView estándar. Se ejecuta en el entorno de Windows de Microsoft, por lo que el usuario debe estar familiarizado con las operaciones básicas de ventanas, tales como usos de menús, cuadros de diálogos y barras de herramientas. Los eventos que se den en la pantalla de la aplicación son leídos desde el

programa del PLC, los cuales han sido asignados como tags. Los tags son un grupo de parámetros que definen una dirección del controlador. Cada tag está definido por un nombre único, por lo que se trata de que sus nombres sean descriptivos.

Configuración de la red y de mensajes de comunicación

En la etapa de configuración del panel principal fue necesario agregar la ruta del PLC a una red de control existente dentro de la planta, para lo cual se determinó que la dirección 111.111.113.201, se encontraba disponible en la LAN.

Ya que el PLC del panel principal no cuenta con un puerto de comunicación Ethernet, se requirió de un Digi para realizar una conversión de Ethernet a serial. A continuación se muestra una figura con la tabla de “ruteo” del Digi para la comunicación entre el panel principal y las 6 prensas vulcanizadoras y una tabla con la descripción de cada nodo de la red.

The screenshot shows the Digi One IAP Configuration and Management web interface in Microsoft Internet Explorer. The browser address bar shows the URL: http://111.111.113.201/config/ia2/ia_route_info.htm?1. The page title is "Digi One IAP Configuration and Management". A message at the top states "Changes have been saved successfully." The main content area is titled "Route Destinations" and includes a "Table name:" field with the value "table1". Below this, it says "Process and send requests to the following destinations:". A table with 5 columns (Index, Address, Protocol, Destination, Action) lists 7 entries. The first entry (Index 1) has a Destination of "Serial port 2", while the others (Index 2-7) have destinations of "Allen-Bradley Ethernet" with various IP addresses. Each entry has "Up", "Down", and "Remove" actions. There are "Add..." and "Apply" buttons at the bottom of the table area.

Index	Address	Protocol	Destination	Action
1	0	DF1 Full-Duplex	Serial port 2	Up Down Remove
2	1	Allen-Bradley Ethernet	111.111.113.141	Up Down Remove
3	2	Allen-Bradley Ethernet	111.111.113.143	Up Down Remove
4	3	Allen-Bradley Ethernet	111.111.113.145	Up Down Remove
5	4	Allen-Bradley Ethernet	111.111.113.147	Up Down Remove
6	5	Allen-Bradley Ethernet	111.111.113.149	Up Down Remove
7	6	Allen-Bradley Ethernet	111.111.113.151	Up Down Remove

Figura 5.6 Tabla de rutas del Digi, para la comunicación con las prensas

Tabla 5.2 Descripción de las rutas del Digi

Nodo	PLC	Dirección IP
0	Panel Principal	111.111.113.201
1	NAF 80	111.111.113.141
2	NAF 81	111.111.113.143
3	NAF 82	111.111.113.145
4	NAF83	111.111.113.147
5	NAF84	111.111.113.149
6	NAF85	111.111.113.151

Configuración de mensajes (MSG)

La instrucción MSG es utilizada en PLC's de Allen-Bradley para el envío y recepción de bloques de mensajes, adicionalmente utilizando un Digi para establecer la interconexión entre los dispositivos de red empleados. Cada nodo corresponde a una instrucción MSG, por lo que cada una se debe configurar para la buena recepción de los bloques enviados por las prensas, además de crear una lógica (programada) para multiplexar los mensajes, ya que se cuenta con un sólo canal de comunicación. En la siguiente figura se muestra la descripción la instrucción MSG.

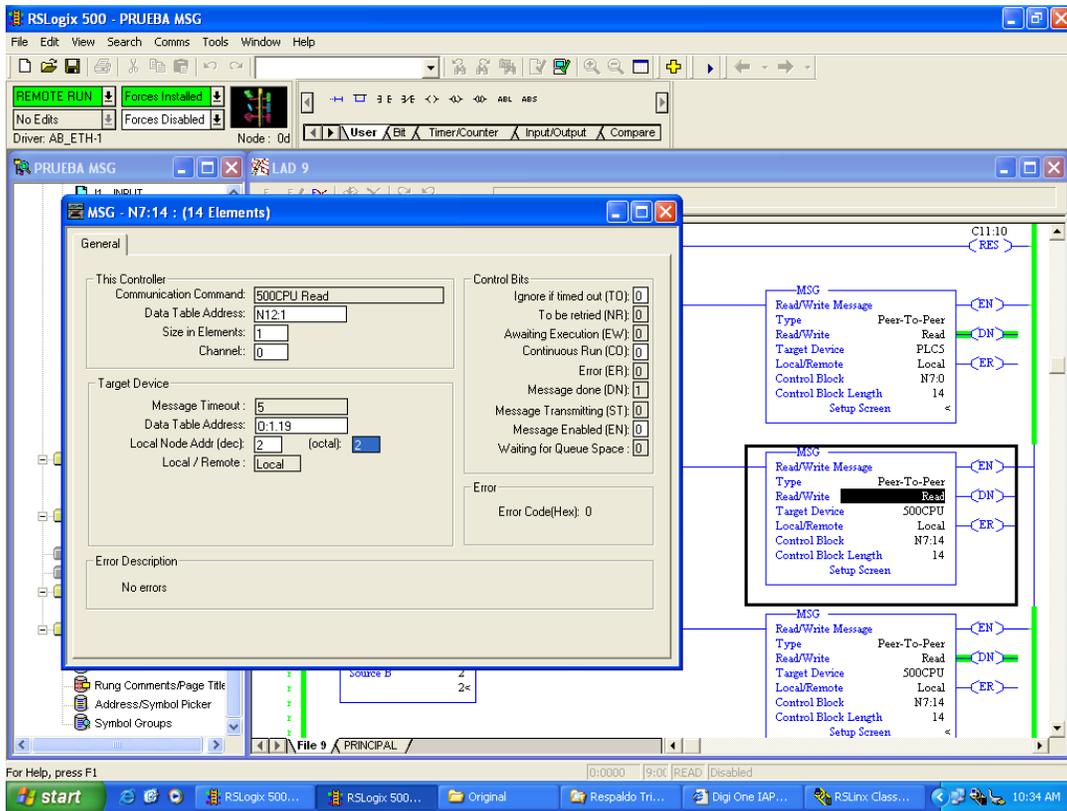


Figura 5.7 Descripción de la instrucción MSG.

5.3.2 Descripción de las principales rutinas y subrutinas de control de las bandas de descarga y de las bandas transportadoras.

El programa de control está estructurado en 14 subrutinas (ladders), según la programación de RSLogix 500. La tabla 5.3 lista el nombre de y la descripción de lo que realiza cada una de las subrutinas.

Tabla 5.3 Descripción de las subrutinas del programa de control en RSLogix 500

Número de ladder	Nombre del ladder	Descripción del ladder
2	MAIN	Inicia secuencia de programa general y llama a las subrutinas del programa
3	SEC_ENCEND	Control de la secuencia del encendido de los motores de las bandas transportadoras
4	BAND_DESC	Muestreo de los sensores de las bandas de descarga y activación de las mismas
5	COUNT_GATE	Contador de activaciones de los "StopGates", para el control de las bandas de descarga
6	PANEL	Control de activaciones del operador en el panel de control
7	SEGURIDAD1	Detección de disparos térmicos, disparos de emergencia y similares
8	SENS_STOPG	Solución a los posibles conflictos que se generan en las bandas de descarga de las prensas vulcanizadoras.
9	T_WAIT_MAX	Lógica de control para la determinación del tiempo de espera en la activación de los motores
10	FOTOCELDAS	Control de las bandas transportador, por medio de las fotoceldas
11	PEGAS_BAND	Detección de bandas transportadoras llenas, con pegas de llantas o llantas traslapadas
12	CTRL_DE_M8	Control especial de la banda M8, para la descarga de llantas a la trinchera 3
13	CONFIR_CTR	Control de confirmaciones, para corroborar la activación de dispositivos
14	SEC_APAGAD	Control para la secuencia de apagado de los motores de las bandas transportadoras

Si bien es cierto que se ha desarrollado un sólo programa, este es compuesto por un conjunto de subrutinas, que hacen más eficiente el modo de programación y su estructura. Seguidamente se procederá a hacer una descripción de las subrutinas más importantes y los diagramas correspondientes a cada una de ellas, con el fin de tener una idea global del software desarrollado.

MAIN

En este ladder se encuentran las todas las subrutinas. Es en donde se inicia la secuencia del programa principal y se realiza la invocación de cada una de las partes de control mediante la instrucción JSR. Este el principal ladder, ya que es desde aquí que se da la secuencia en que las subrutinas son "corridas" para la operación del sistema.

SEC_ENCEND

En este ladder se desarrolla la rutina de encendido de motores, iniciando por un enclave del sistema, realizado por el operador o bien por la ejecución normal del sistema. La secuencia de encendido está en función del correcto transporte de llantas y además con cierto intervalo de tiempo entre los arranques, para evitar picos de corriente o fluctuaciones en la línea de alimentación de las máquinas, evitando daños en el equipo.

Se empieza la atención de la banda denominada M8 y se termina con M1, tardando este proceso 16 segundos. Una vez encendidas las bandas, permanecerán así hasta que alguna de las otras subrutinas solicite el apagado de las mismas.

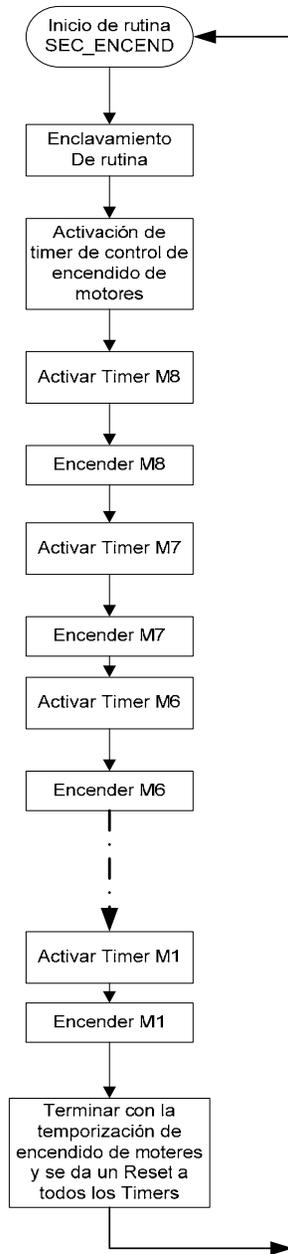


Figura 5.8 Diagrama de la rutina SEC_ENCEND, con la lógica de encendido de motores de las bandas de transporte.

BAND_DESC

Este ladder, uno de los más importantes, realiza el muestreo de los sensores que se encuentran en las prensas vulcanizadoras, denominados “StopGates”. Cada vez que un par de llantas termina el proceso de

vulcanizado estos sensores son activados. A partir de la activación registrada se tomara la decisión de la lógica de para descargar las llantas.

La línea de producción se ha dividido en dos partes, parte A, conformada por las prensas: NAF80, NAF81, NAF82 y NAF83, y la parte B, por la NAF84 y la NAF85. Tomando en cuenta que la parte A posee más prensas, se le da prioridad de atención, atendiendo la parte B posteriormente. Para garantizar el buen flujo de llantas, sin provocar traslapes ni atrapamientos, se da la temporización necesaria entre cada activación de las bandas de descarga. A continuación se muestra el diagrama que describe este proceso.

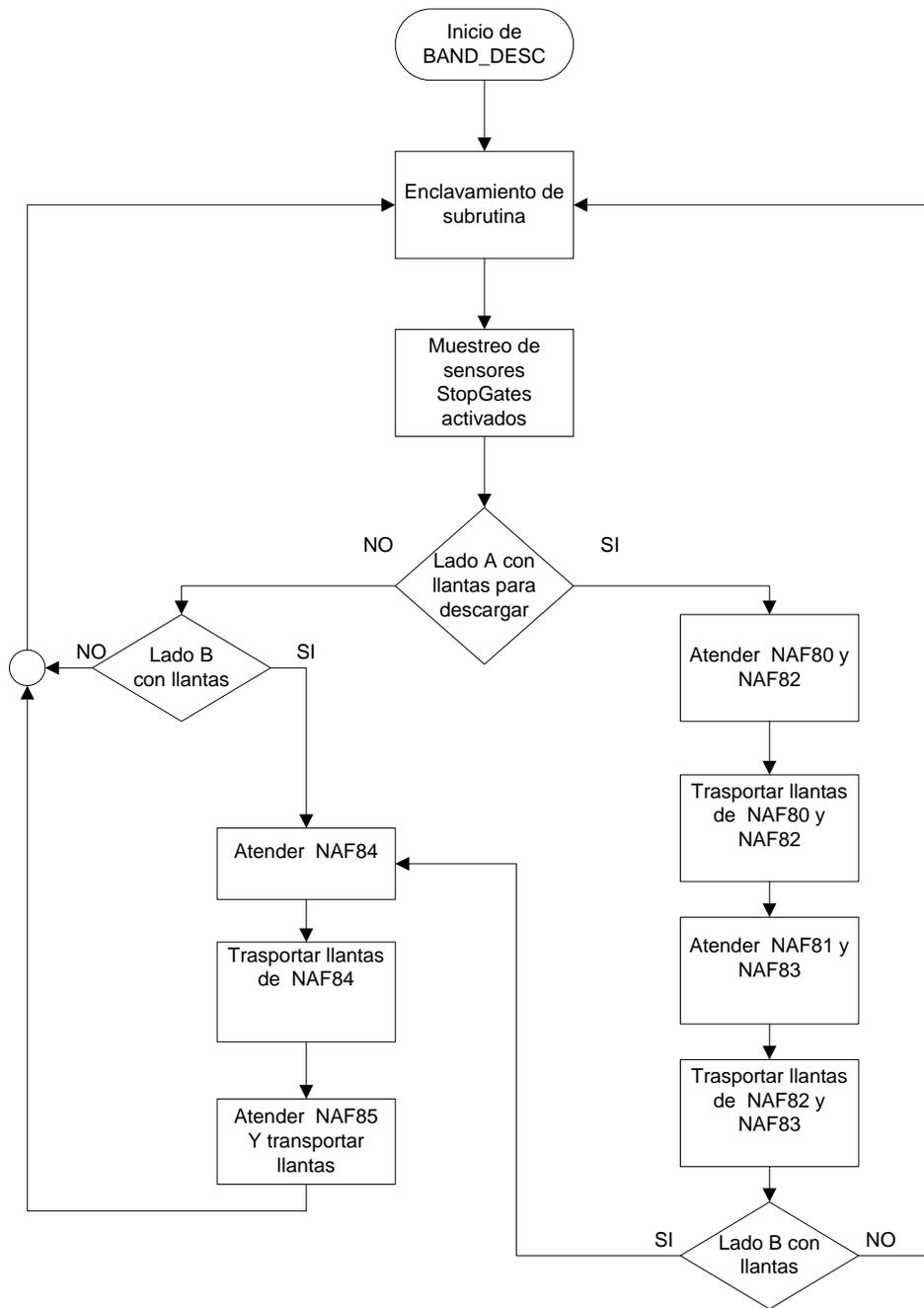


Figura 5.9 Diagrama de la rutina BAND_DESC, con la lógica de control de activaciones de las bandas de descarga.

COUNT_GATE y SENS_STOPG

Estos ladders, en forma conjunta, registran las activaciones de los “StopGates”, para el control de activaciones de los sensores. De ser necesario, realizan el enclavamiento del sistema para su debida atención y una vez atendido, se encargan de dar un “Reset” a los contadores para que el sistema vuelva a su estado inicial.

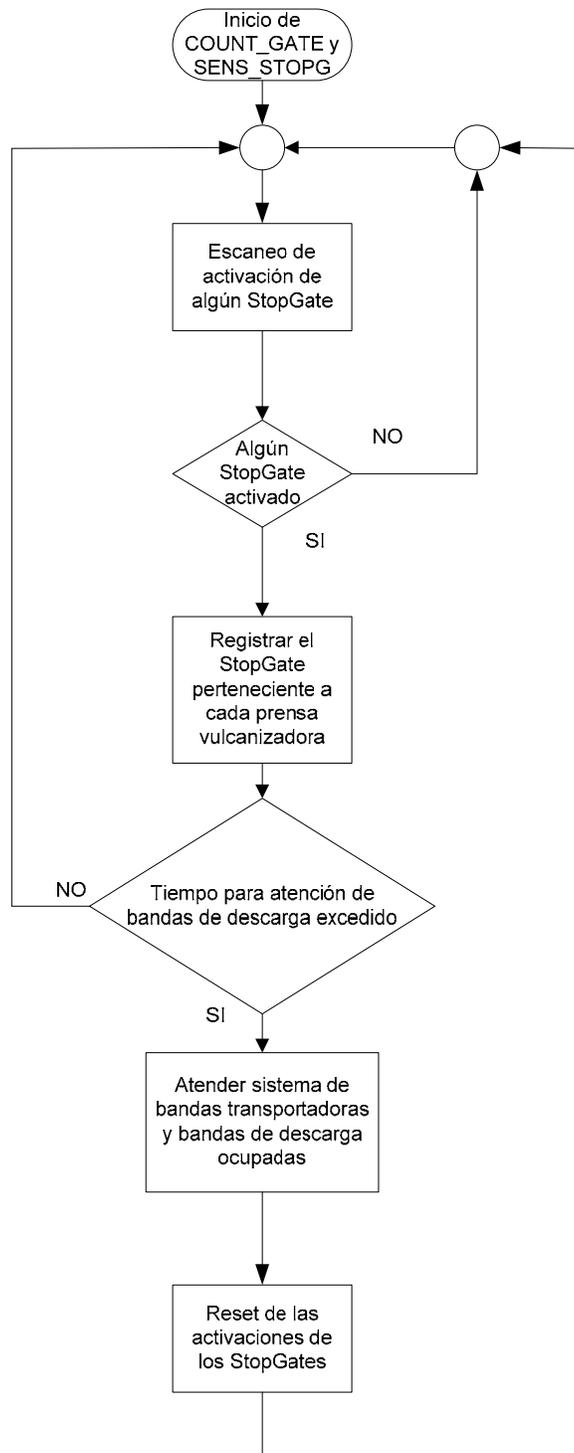


Figura 5.10 Diagrama de las rutinas COUNT_GATE y SENS_STOPG, con la lógica de los registros de activación de los StopGates.

PANEL

Este ladder se hace cargo de la interfaz entre operador-máquina, posee la captura del “Set” general del sistema, la activación de la energía de las bandas transportadoras y bandas de descarga, la selección del modo de operación manual y el botón de paro u hongo de emergencia.

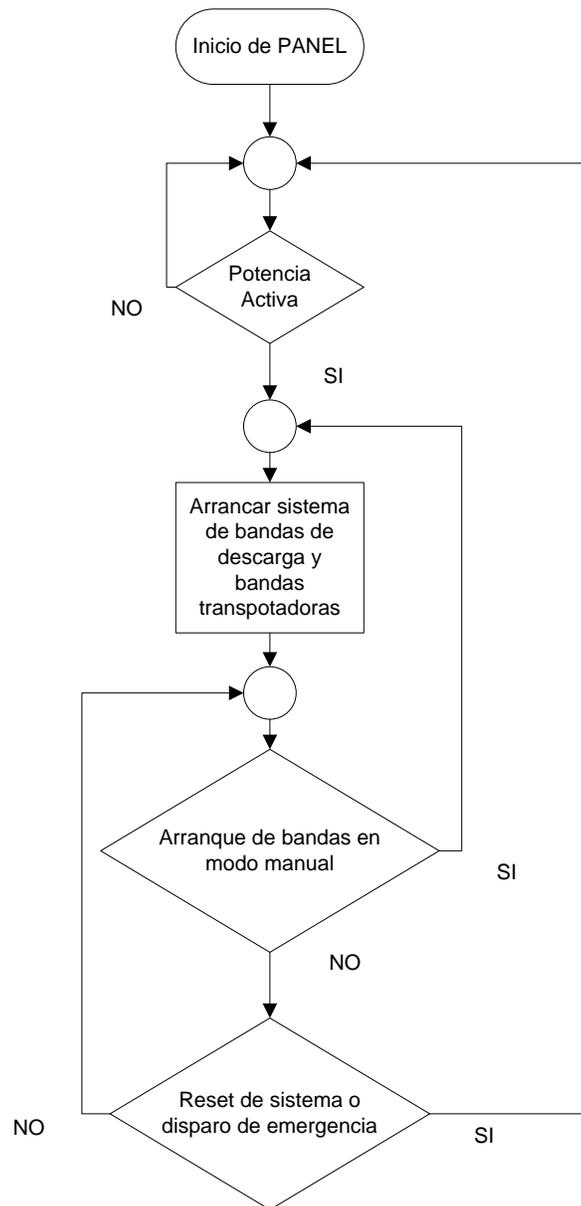


Figura 5.11 Diagrama de la rutina PANEL, con la lógica de interfaz operador-máquina.

SEGURIDAD1

En este ladder se encuentran las condiciones de seguridad para protección del operador y de los motores. Aquí se registran las activaciones de los cables de seguridad, dispuestos alrededor de las bandas transportadoras, del hongo de emergencia y de los disparos térmicos provocados en los motores. Registrado un acontecimiento anómalo en el sistema, se enviará una señal de desactivación de la energía del sistema y se restituirá hasta que se de un “Reset”.

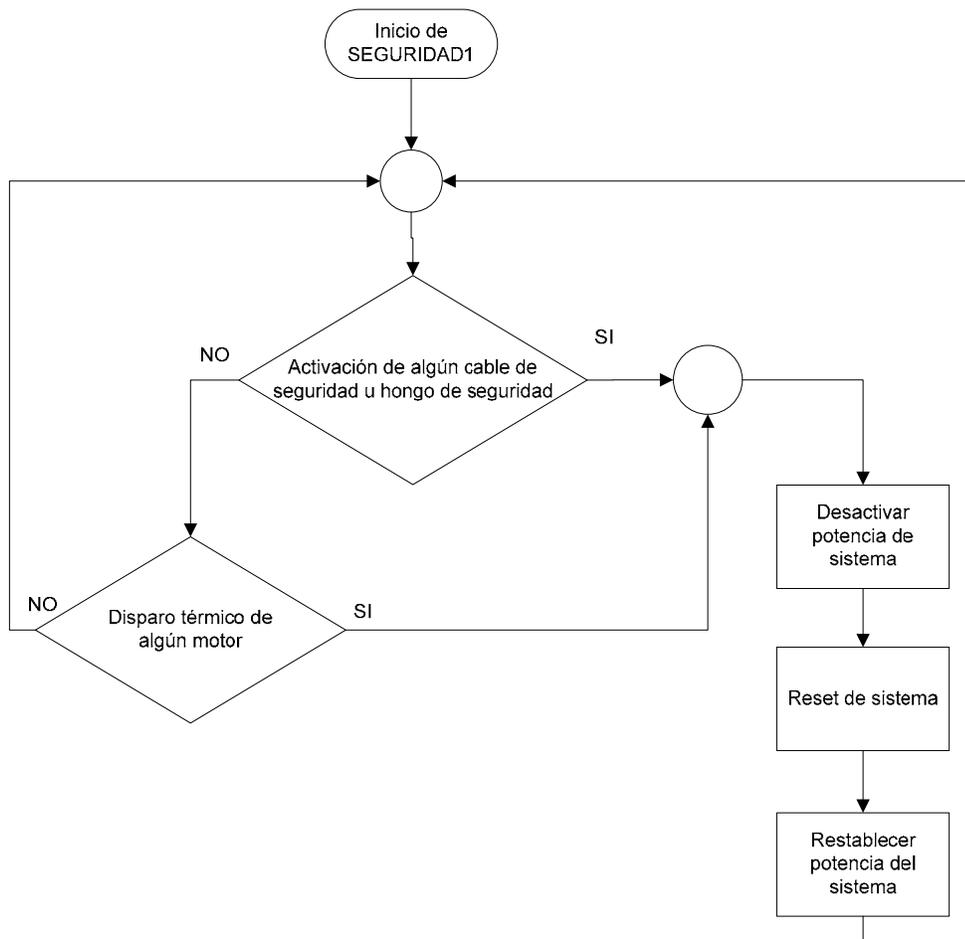


Figura 5.12 Diagrama de la rutina SEGURIDAD1

T_WAIT_MAX

En este ladder se regula el tiempo que se espera el sistema para comenzar la atención de las bandas. La activación de esta rutina se da al ser activado cualquier "StopGate" de las prensas, lo que iniciará una temporización, para acumular la mayor cantidad de llantas posibles en las bandas de descarga y antes de llegar a un punto crítico (traslapes entre llantas), se llama a la rutina de encendido de motores y posteriormente a la rutina de atención de las bandas de descarga. Una vez transportadas las llantas el sistema vuelve a su estado de espera. En el siguiente diagrama se muestra la secuencia requerida para esta rutina.

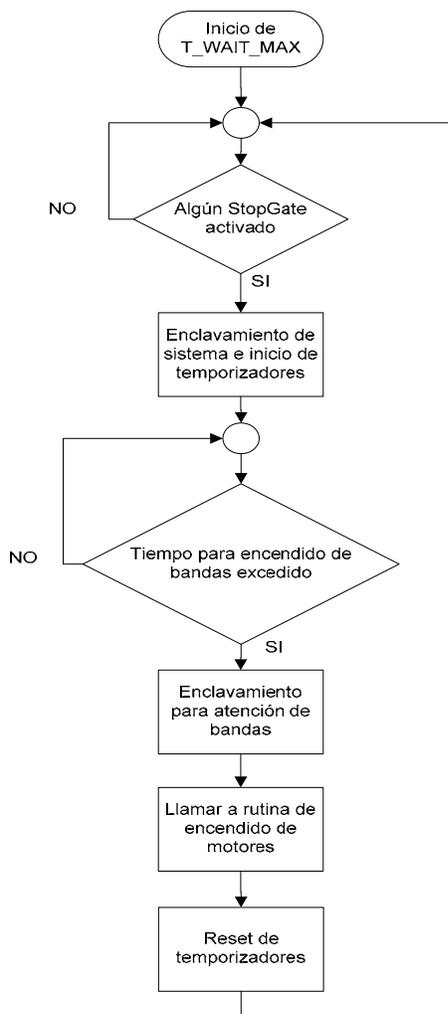


Figura 5.13 Diagrama de la rutina T_WAIT_MAX, para el tiempo de espera en la atención de las bandas.

FOTOCELDAS y PEGAS_BAND

En estos ladder se realiza el control de flujo de las llantas en las bandas transportadoras, mediante las señales provenientes de las fotoceldas dispuestas en cada una de las secciones de las bandas transportadoras. Primeramente se llevan a cabo las confirmaciones de encendido de los motores para garantizar que las llantas se estén transportando y posteriormente se “ve” el estado de los sensores para determinar posibles atascamientos de llantas. Se empieza por la evaluación de alguna pega en la banda M7 y así consecutivamente hasta llegar a M1, se detendrán los motores en donde se detecten pegas o traslapes y de ser necesario, se enviará una señal para activación de una sirena, así el operador resolverá el conflicto.

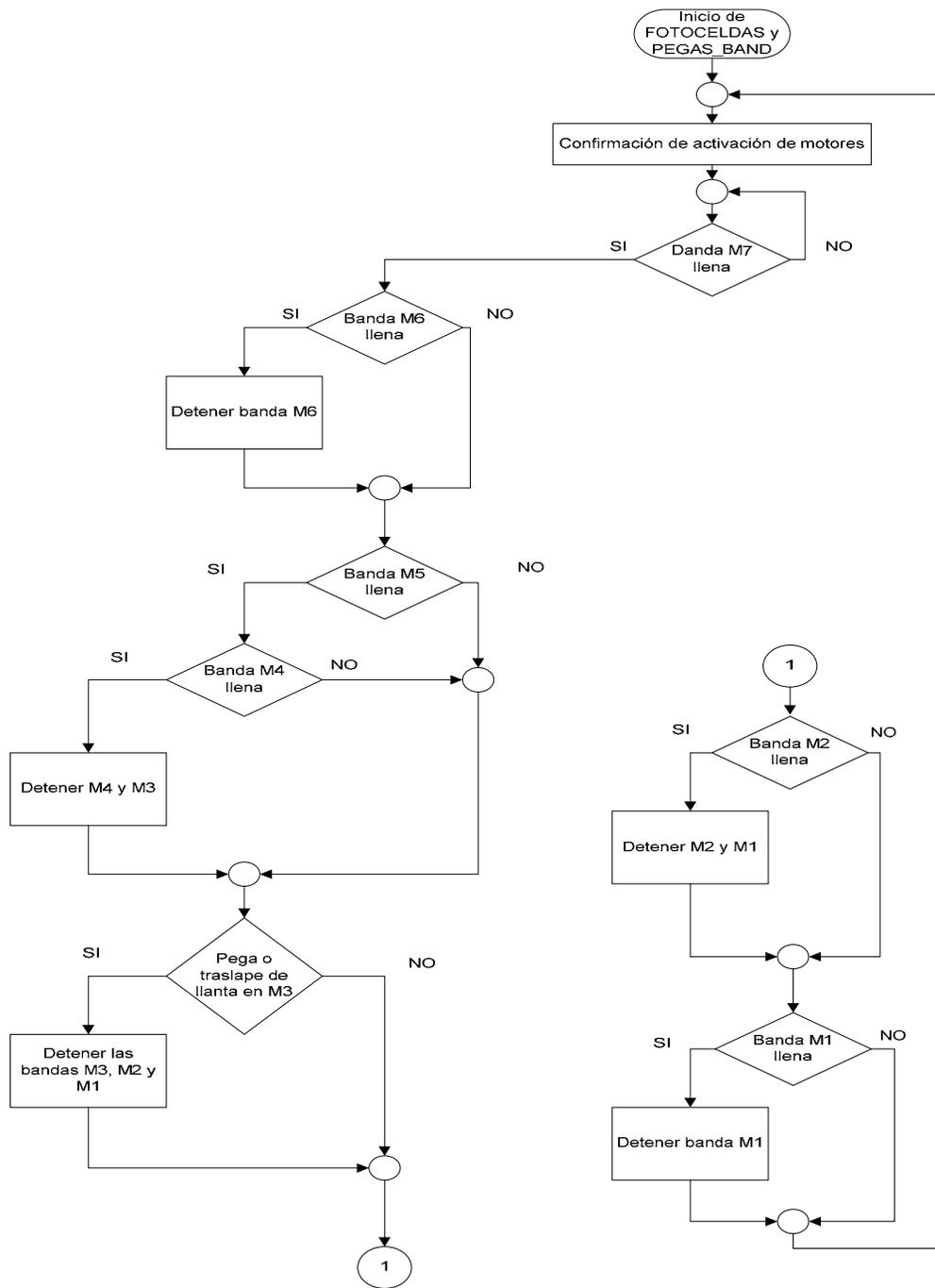


Figura 5.14 Diagramas de las rutinas FOTOCELDAS y PEGAS_BAND, para el control de los atascamientos y traslapes de llantas.

CTRL_DE_M8

Este ladder se encarga de autorizar la descarga de llantas a la Trinchera 3, una de las líneas con mayor flujo de llantas. Ya que la trinchera 4 transporta menor cantidad de llantas, se podría decir que su función es de “esclava”, referida a todas las bandas transportadoras que conforman la sección de vulcanizado de las llantas y tomando en cuenta que existen alrededor de 80 prensar vulcanizadoras. Por tanto, esta rutina necesita la confirmación de que el motor de la trinchera 3 este energizado, para evitar traslapes, además se verifica que la banda esté desocupada para poder autorizar la descarga y que existan llantas en estado de espera. Este proceso se da con cada llanta proveniente desde M8, así, una vez atendida una llanta el sistema queda listo para procesar la próxima petición de autorización.

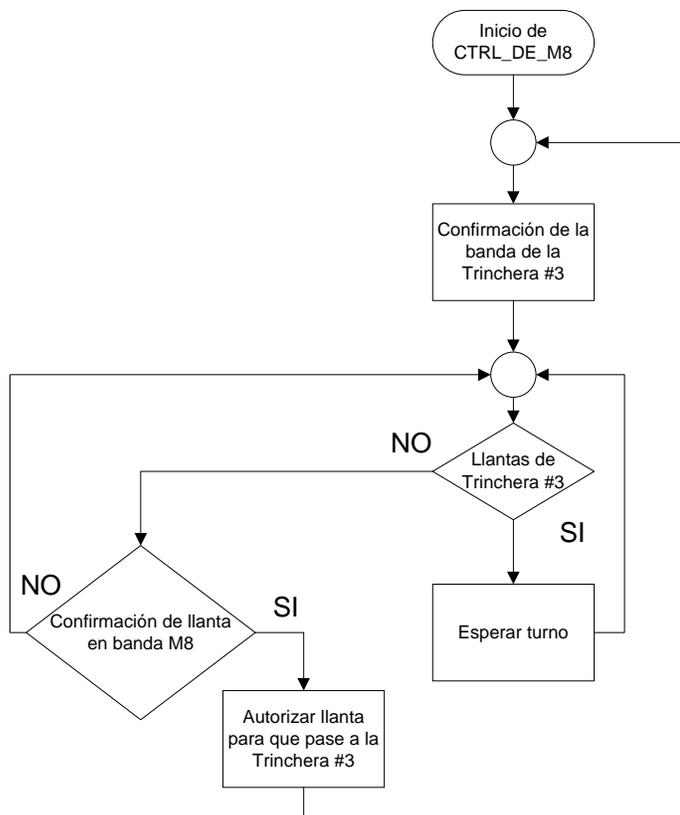


Figura 5.15 Diagramas de la rutina CTRL_DE_M8, para la petición de autorización a la Trinchera 3

CONFIR_CTR

Este ladder está hecho para verificar que todos los dispositivos estén debidamente energizados, para garantizar el envío y recepción de datos, además de su óptimo funcionamiento. Se confirma el funcionamiento de la red DeviceNet y sus nodos, de la fuente de paros de emergencia, de la fuente de alimentación de los módulos de entrada, la confirmación de la Trinchera 3. Además detecta cuando hay llantas en los acumuladores (M7 y M5) por más de 2 minutos, así mismo, si hay llantas traslapadas en M3. De ser así se enviará una señal para la activación de la sirena.

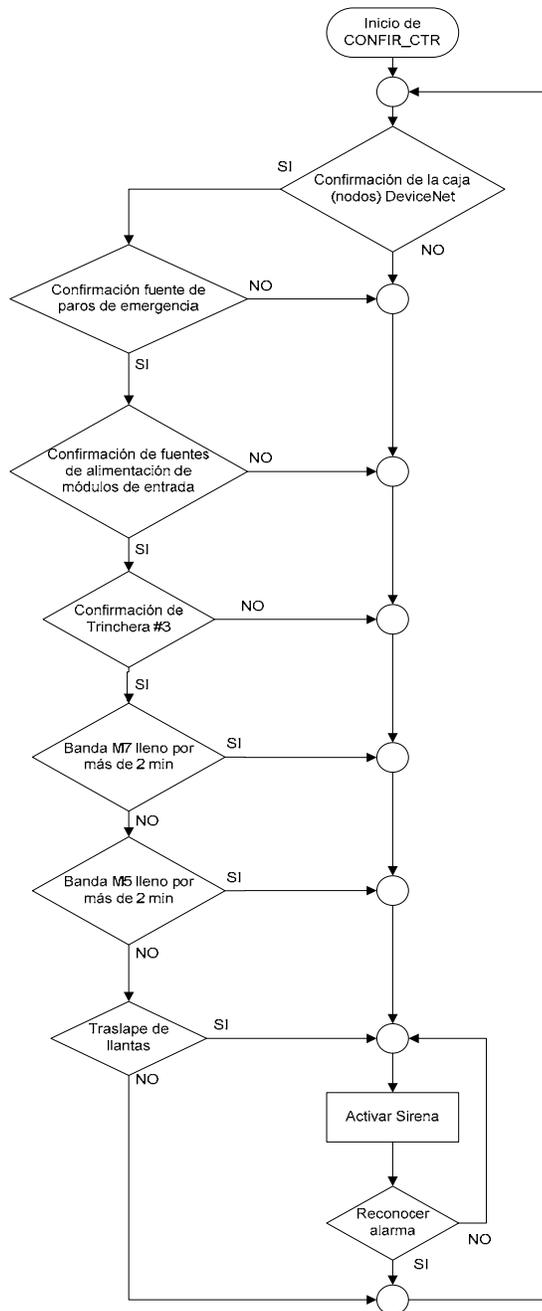


Figura 5.16 Diagrama de la rutina CONFIR_CTR, para la confirmación de activación del sistema.

SEC_APAGAD

Este ladder realiza la función de deshabilitar los motores de las bandas transportadoras. Una vez concluido el proceso de transporte de llantas se comienza por apagar las bandas, empezando por M1 y terminando con M8,

con un intervalo de tiempo entre cada deshabilitación. Ya que M7 es una banda acumuladora y es la que tendrá todas las llantas en estado de espera para el pase a la trinchera 3.

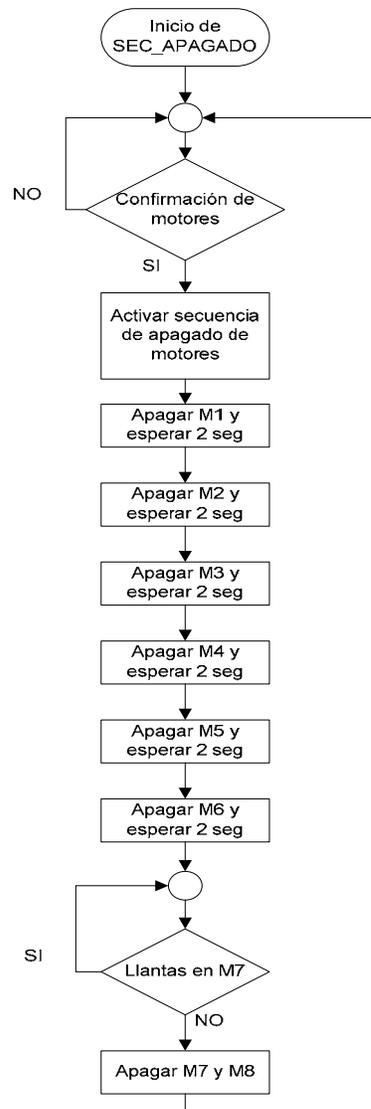


Figura 5.17 Diagrama de la rutina SEC_APAGADO, para el control de apagado de los motores de las bandas transportadoras.

COM

Este ladder se encarga de sincronizar la comunicación del PLC del panel de control con las prensas vulcanizadoras. Incrementando el acumulador de un contador se realiza la función de selección o multiplexación, para el envío de mensajes de las prensas hacia el PLC, en donde se lee el estado de los sensores de las prensas (StopGates) para determinar la posición de los mismos. Se empieza con la atención de la prensa 1, correspondiente a la NAF80 y terminando con la prensa 6, o sea la NAF85. Una vez atendidas todas, se reinicia el contador para “muestrear” el estado de los StopGates nuevamente, el tiempo de muestreo para prensa es de 20ms, de no tener lectura de datos en este tiempo se generará un error de comunicación.

En caso de perder comunicación con alguna de las prensas se enviará una alarma para informar al operario y se asumirá que siempre habrá una llanta en la banda de descarga, evitando algún conflicto al momento de descargar llantas. Seguidamente se presenta un diagrama que describe esta rutina.

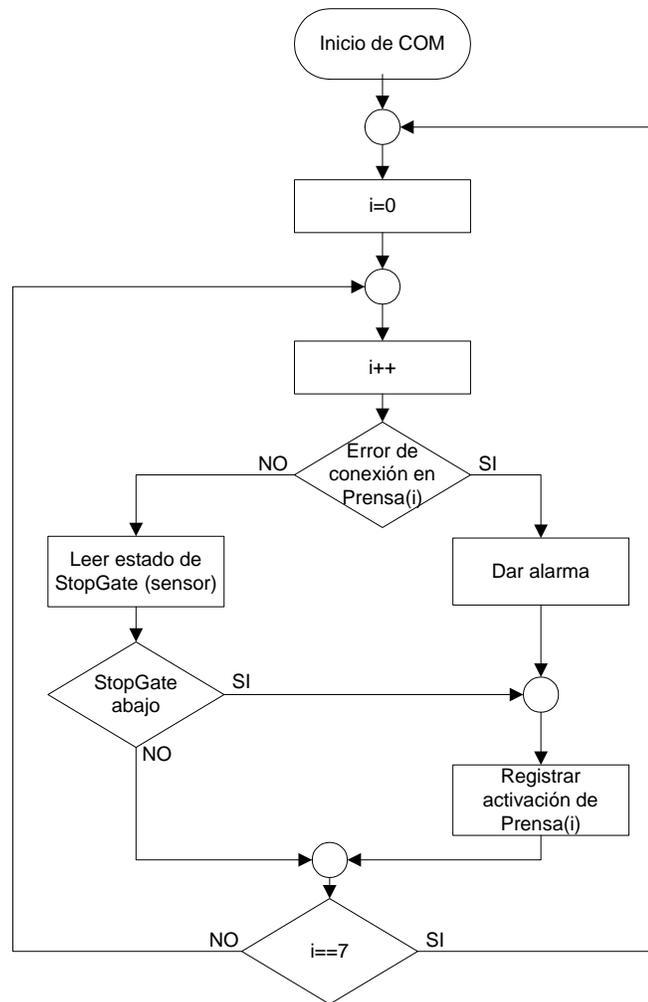


Figura 5.18 Diagrama de la rutina COM, para la comunicación de las prensas vulcanizadoras con el PLCA

AUTO/MANU

En este ladder se puede seleccionar la forma de operación de las bandas de descarga y las bandas transportadoras. Es básicamente una función para evitar atascamientos de llantas al darse alguna condición fuera de lo normal del proceso, en donde el operador podrá accionar a través del PanelView cualquier actuador o motor. El siguiente diagrama describe este proceso.

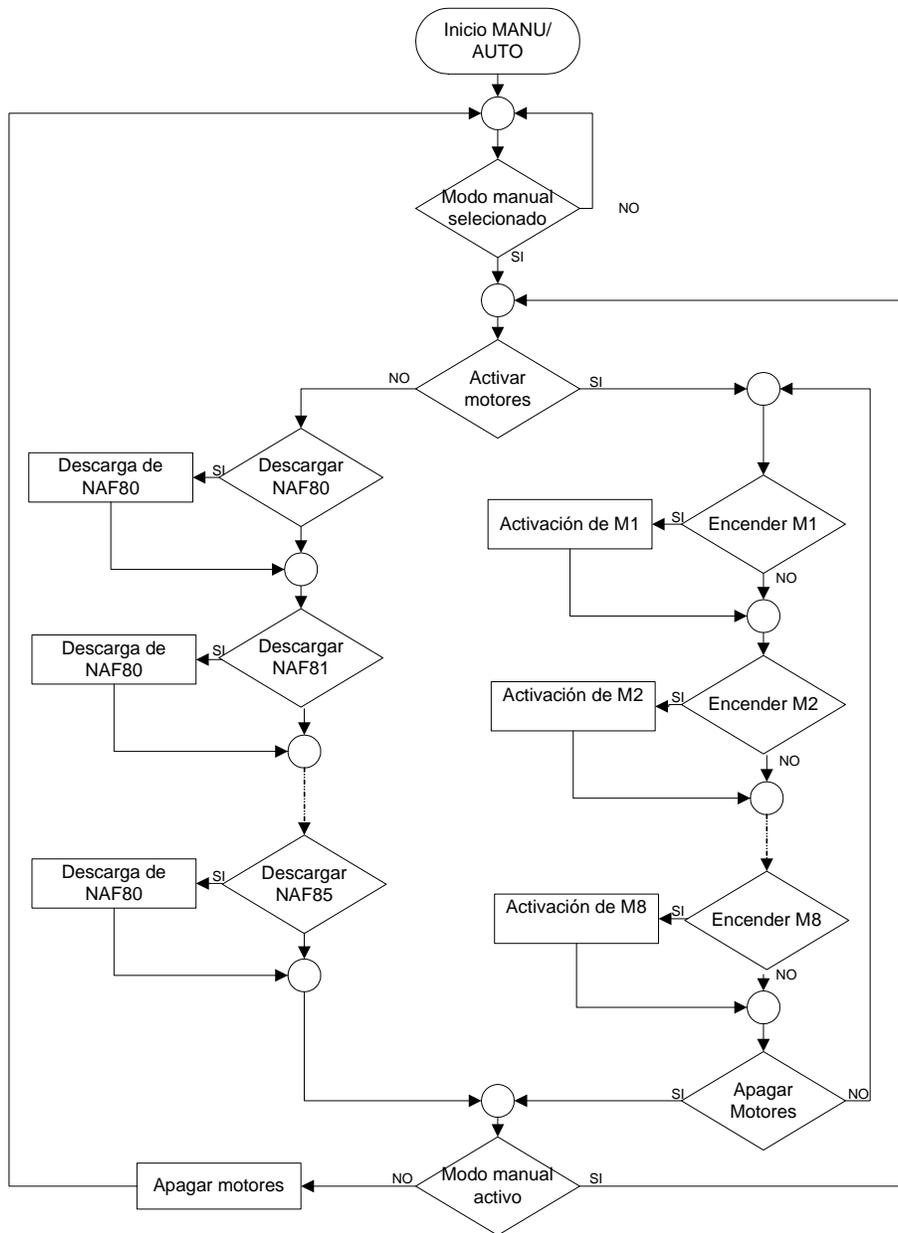


Figura 5.19 Diagrama de la rutina COM, para la comunicación de las prensas vulcanizadoras con el PLC

Capítulo 6: Análisis de resultados

A continuación se presentan los resultados obtenidos en el proyecto mediante tablas, gráficos y diagramas, así mismo se explican las condiciones en que estos se obtuvieron. Se realiza un análisis de estos resultados basados con el fin de lograr los objetivos planteados.

6.1 Resultados

Estadística de utilidad del sistema

Para la medición del tiempo de utilidad de las bandas transportadoras se requirió únicamente de un cronómetro. A continuación se presentan los resultados de las mediciones realizadas antes y después de los cambios efectuados en el sistema de control de bandas.

Tabla 6.1 Mediciones realizadas en el sistema de dosificación de atención de bandas transportadoras y bandas de descarga antes de realizar los cambios en el programa del PLC

Fecha de muestreo (por hora)	01/09/08	02/09/08	02/09/08	02/09/08	03/09/08	04/09/08	04/09/08	05/09/08	05/09/08	05/09/08
Hora de inicio de muestreo	1:20 p.m	7:40 a.m	9:24 a.m	1:25 p.m	1:23 a.m	9:00 a.m	11:10 a.m	7:25 a.m	8:40 a.m	1:55 p.m
Hora final de muestreo	2:20 p.m	8:40 a.m	10:24 a.m	2:25 p.m	2:23 a.m	10:00 a.m	12:10 a.m	8:25 a.m	9:40 a.m	2:55 p.m
Atenciones a las bandas de descarga	69	67	65	67	66	78	73	74	72	74
Atención a bandas de descarga fallidas	47	49	50	53	48	56	52	54	52	52
Atención a bandas de descarga acertadas	22	18	15	14	18	22	21	20	20	22
Cantidad de llantas transportadas	44	36	30	28	36	44	42	40	40	44
Tiempo de encendido del motor M1 (min)	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
Tiempo en el que el conveyor no transporta llantas (min)	48,5	51,5	55,9	52,7	51,4	53,5	52,5	51,3	50,6	51,7

Tabla 6.2 Mediciones realizadas en el sistema de dosificación de atención de bandas transportadoras y bandas de descarga después de realizar los cambios en el programa del PLC

Fecha de muestreo (por hora)	05/01/09	05/01/09	05/01/09	06/01/09	06/01/09	06/01/09	06/01/09	06/01/09	15/01/09	15/01/09
Hora de inicio de muestreo	12:00 m.d	1:00 p.m	2:00 p.m	8:30 a.m	9:30 a.m	10:30 a.m	1:00 p.m	2:00 p.m	9:38 am	10:54 am
Hora final de muestreo	1:00 p.m	2:00 p.m	3:00 p.m	9:30 a.m	10:30 a.m	11:30 a.m	2:00 p.m	3:00 p.m	10:38 am	11:54 am
Atenciones a las bandas de descarga	11	9	13	9	13	13	9	5	17	14
Atención a bandas de descarga fallidas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Atención a bandas de descarga acertadas	11	9	13	9	13	13	9	5	17	14
Cantidad de llantas transportadas	22	18	26	18	26	26	18	10	34	28
Tiempo de encendido del motor M1 (min)	8,35	6,18	9,27	6,23	7,27	7,38	6,07	5,27	8,35	10,35
Tiempo en el que el conveyor no transporta llantas (min)	2,0	2,0	2,5	1,5	2,17	2,0	1,33	1,5	2,0	2,5

Consumo de energía del sistema

Para la medición de potencia eléctrica se ha empleado un medidor HIOKI 3196 Power Quality Analyzer, utilizado para análisis, gestión de calidad y supervisión de redes de potencia eléctrica⁷.

En la figura 6.1 se muestra el circuito de medición utilizado, con sus respectivos puntos para la toma de datos de potencia.

⁷ Ver características del medidor HIOKI 3196 en Apendice B.2

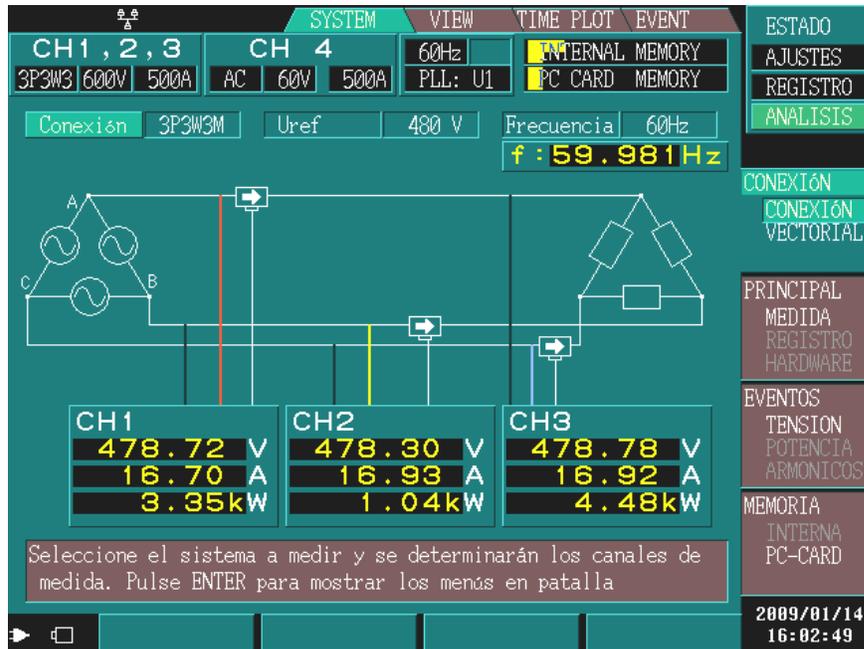


Figura 6.1 Diagrama de conexión delta de 3 fases y 3 hilos, para medición de consumo de potencia eléctrica con el HIOKI 3196.

En las siguientes figuras se muestran las gráficas de potencia correspondientes al sistema de dosificación antiguo y con el nuevo sistema.



Figura 6.2 Gráfica de potencia trifásica(MW) versus tiempo(s), con el sistema de dosificación antiguo, para una hora de medición con el HIOKI 3196.

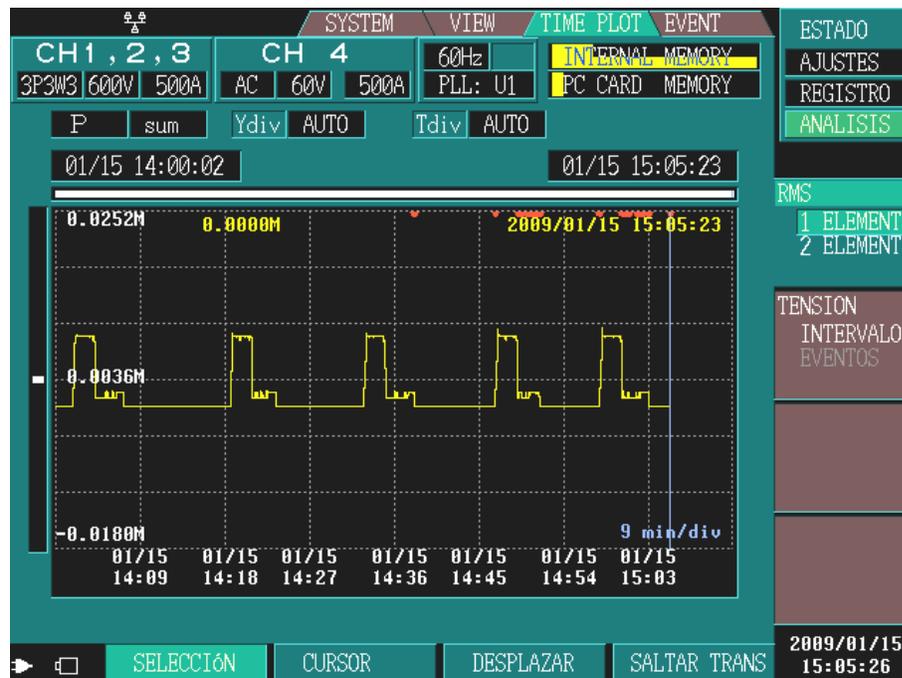


Figura 6.3 Gráfica de potencia trifásica(MW) versus tiempo(s), con el sistema de dosificación nuevo, para una hora de medición con el HIOKI 3196.

Ya que los datos brindados por el medidor se encuentran en unidades de Mw y lo que se busca es la medición de energía, o sea, en Kwh, se procederá con una de serie de cálculos para aproximar el resultado mediante la integración en el tiempo de la potencia.

Primeramente se guardará un archivo con extensión CSV (Comma Separated Value) en el medidor, luego con ayuda de Microsoft Excel se obtendrán los puntos más importantes para realizar una aproximación. Seguidamente se analizarán los datos en el intervalo de una hora, con el fin de determinar el estimado de consumo de potencia y así obtener el porcentaje de disminución del sistema.

Aproximación de la energía, antes de realizar los cambios en el sistema.

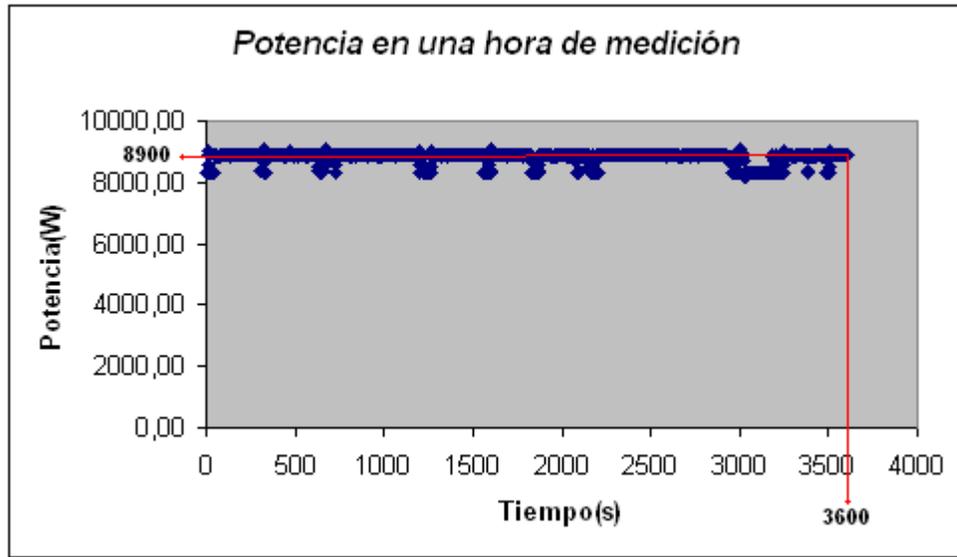


Figura 6.4 Gráfica de potencia trifásica(W) versus tiempo(s), con el sistema de dosificación antiguo, para una hora de medición, con los datos graficados en Microsoft Excel

Aproximación de la energía, después de realizar los cambios en el sistema, para un ciclo de activación.

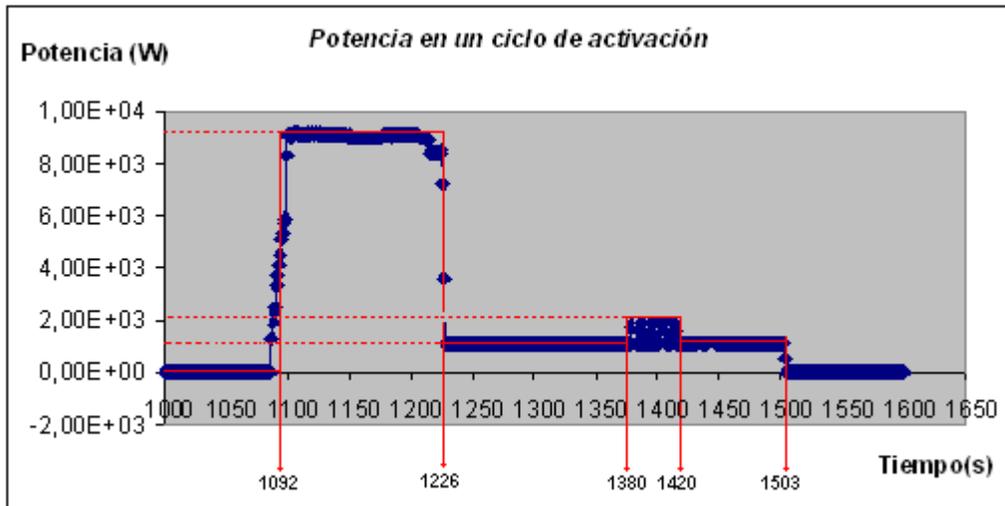


Figura 6.5 Gráfica de potencia trifásica(W) versus tiempo(s), con el sistema de dosificación nuevo, para diez minutos de medición, con los datos graficados en Microsoft Excel

Antes de realizar los cálculos de aproximación de la energía en cada uno de los sistemas, es importante mencionar que se realizaron varias mediciones

de campo y mediante inspección se determinó que el ciclo mostrado en la figura 6.5 fue el que presentó mayor consumo de energía. Y además este ciclo, se multiplico por 5 repeticiones, el cual es el mayor número posible de activaciones en una hora, con lo que se puede decir que este es el caso crítico del nuevo sistema, o sea, el que generará mayor consumo de energía. Así mismo la medición de potencia para el sistema viejo permanece prácticamente constante para cualquier hora de medición.

Ahora, integrando la potencia en cada sistema se tiene la siguiente tabla de resultados:

Tabla 6.3 Datos obtenidos al realizar la integración de la potencia con respecto al tiempo de ambos sistemas.

Sistema medido	Antiguo	Nuevo
Consumo de energía aproximado (kWh)	8.90	2.12
Disminución del consumo de energía con respecto al antiguo sistema	76.13%	

Tomando en cuenta este resultado y utilizando la tarifa actual del CNFL para clientes servidos en media tensión, se tienen los siguientes resultados:

Tabla 6.4 Tarifas y costos del Kwh para los distintos periodos de horarios, para temporada alta, según la publicación número 76 alcance número 18 de la Gaceta, vigente el 21 de abril del 2008

Periodo de horario	Tarifa en temporada alta (Colones), por cada Kwh	Horas en cada periodo de horario	Consumo de Kwh con sistema antiguo	Consumo de Kwh con sistema nuevo	Consumo de colones por hora con el sistema nuevo	Consumo de colones por hora con el sistema nuevo
Punta	44	5	8.90	2.12	1,958.0	477.0
Valle	27	9	8.90	2.12	2,162.7	515.16
Nocturno	15	10	8.90	2.12	1,335.0	318.0

Generando una reducción en el costo del consumo de energía por día de al menos **4,153.7** colones y en un mes(30 días) de **124,611.0** colones.

Interfaz de usuario con el sistema

En el desarrollo de la interfaz entre el operario y el sistema, se desarrolló una aplicación en PanelBuilder32 y posteriormente se realizó la descarga a un PanelView 1000 de Allen-Bradley. Seguidamente se muestra una serie de pantallas para el control y visualización del sistema, además de una breve descripción de sus funciones.

La pantalla principal muestra la distribución de las prensas y de las bandas transportadoras con sus respectivos sensores, además de los botones para el control de las mismas. Así mismo los temporizadores para la activación y desactivación de las bandas transportadoras y el estado del modo manual del sistema (Activado o Desactivado).

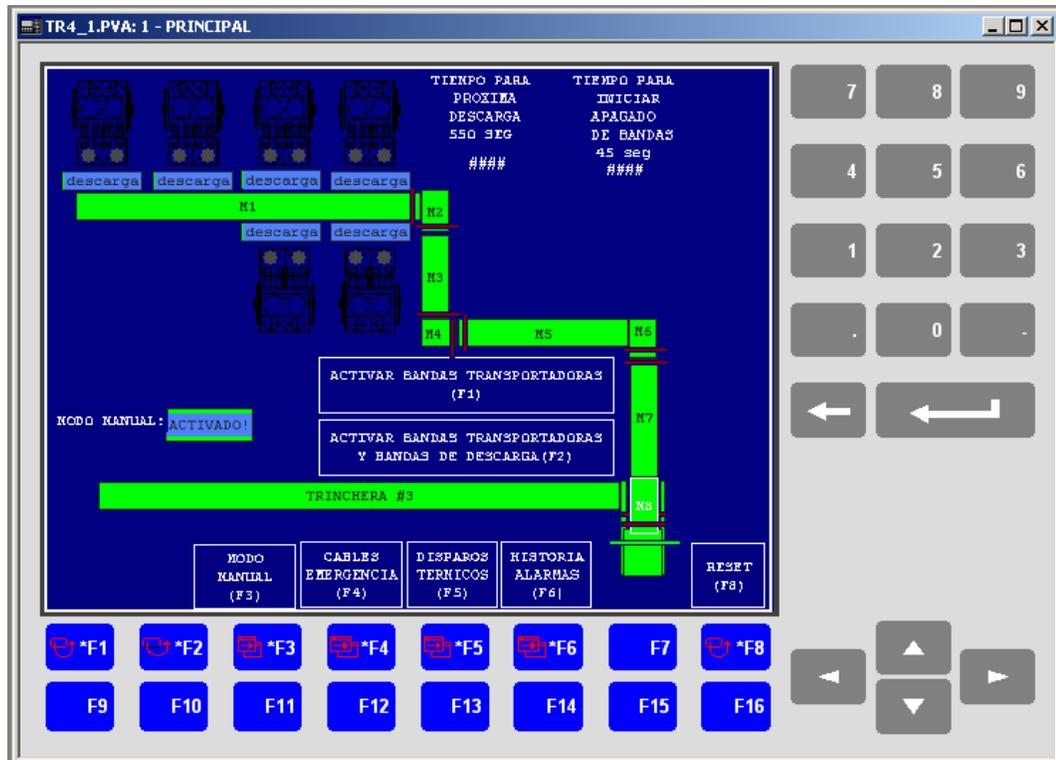


Figura 6.6 Pantalla principal de la interfaz entre el sistema de control y el operario, con control y visualización del proceso de activación y transporte de las bandas.

En el modo manual existen dos pantallas, una para la activación de este modo y para la activación de las bandas de descarga (ver figura 6.7). Una vez que se activa este modo, el control del proceso será tomado por el operador para accionar las descargar manualmente. En la otra pantalla (figura 6.8), se tiene el control de encendido y apagado de las bandas transportadoras, en donde se podrán accionar las que se necesiten únicamente.

El uso de este modo es requerido bajo condiciones especiales, tales como, pegas de llantas por problemas mecánicos, mantenimiento o reparación de equipos y algunas condiciones de seguridad.

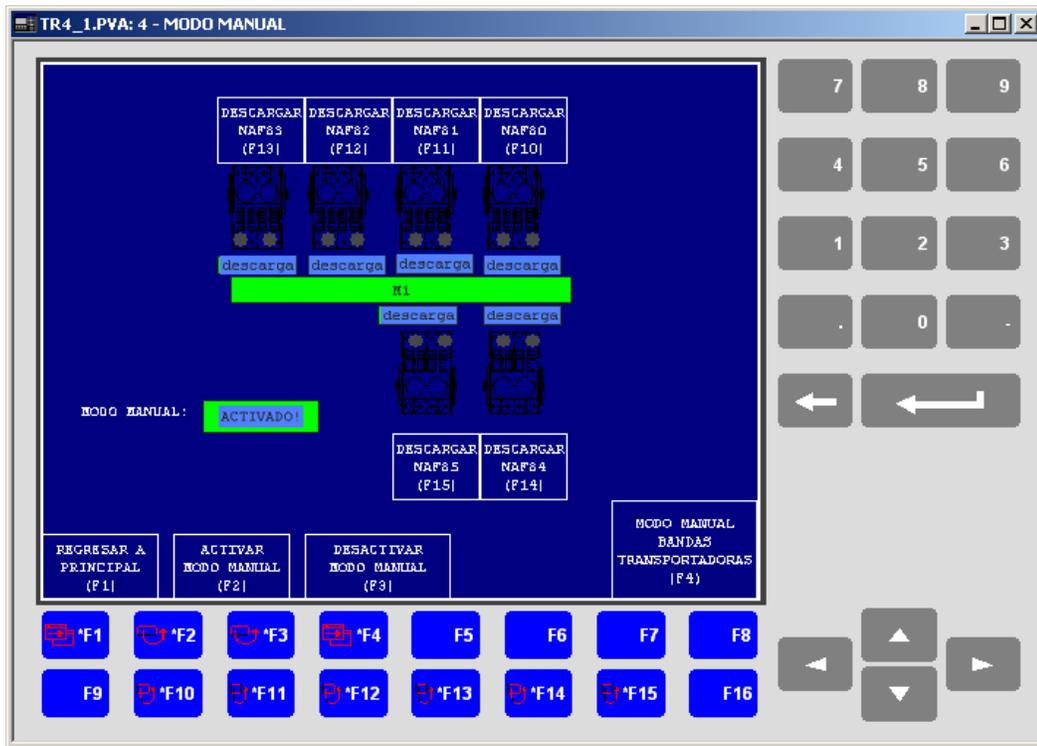


Figura 6.7 Pantalla de activación de bandas de descarga, en modo manual.

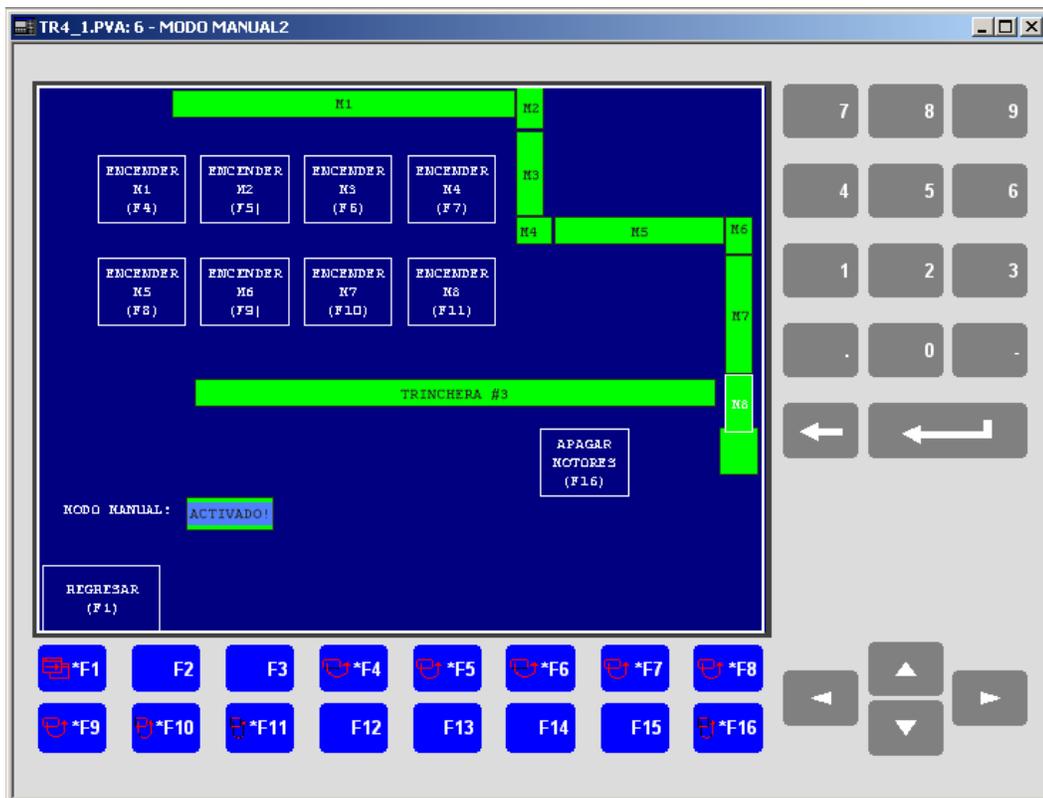


Figura 6.8 Pantalla de activación de bandas de transportadoras, en modo manual.

El uso de mensajes para notificaciones de alarmas hacen que la solución a una falla sea fácil de localizar y así más rápida de corregir, por lo que se muestran mensajes en la pantalla del PanelView cada vez que ocurre alguna situación fuera de lo normal en el proceso. Seguidamente se muestra un mensaje de alarma (AI155) como ejemplo, en donde ocurre un error de comunicación entre el PLC del panel principal y el PLC de la prensa NAF85.



Figura 6.9 Pantalla de emisión de alarmas del sistema.

Control de bandas de descarga y bandas transportadoras

En términos generales el programa desarrollado para el control del sistema funciona de la siguiente manera: Inicialmente en el primer “scan” de ejecución del programa se activa la secuencia de encendido de motores y se atienden todas las bandas de descarga, ya que en ese momento no se sabe con certeza el estado de las bandas de descarga (ocupadas o desocupadas), este comportamiento es transitorio, dado que sólo se ejecutará en condiciones de inicialización y cortes o fallas eléctricas, evitando que el PLC caiga en un estado desconocido o indeseable.

Una vez terminado el ciclo de inicialización, el programa continúa funcionando en forma normal, esto es, se empieza con el monitoreo de activación de los StopGates (sensores de las prensas vulcanizadoras), para lo que se utiliza un sistema de muestreo tipo “polling”, con un tiempo de muestreo de 20ms, mediante la instrucción MSG y por medio de la red de las prensas vulcanizadoras o red control de Ethernet. Una vez que se determina una activación de cualquier prensa, se inicia un temporizador de 550 segundos (dato tomado estadísticamente para determinar el mayor tiempo posible de espera, sin causar traslapes ni atascamientos de llantas). Mientras se espera que el temporizador termine, se continúa con el muestreo de las activaciones de los StopGates las demás prensas, para establecer cuales deben ser atendidas. Transcurrido el tiempo se encienden las bandas transportadoras, empezando por M8 y terminando con M1, con una diferencia de encendido de dos segundos cada una. Una vez encendida la banda M1, se empieza con la activación de los actuadores de las bandas de descarga. Es importante destacar que la secuencia de activación de las bandas de descarga se determina según su estado (ocupado o desocupado), y la ubicación de las prensas, para lograr una mayor eficiencia del proceso de traslación de las llantas.

Terminado el proceso de traslación de llantas de la Trinchera 4 a la Trinchera 3, se inicia el ciclo de apagado de las bandas transportadoras,

comenzando con M1 y terminando con M8 y se reinicia el proceso, quedando en un estado de espera de una nueva activación de algún StopGate.

Con respecto al sistema de seguridad, este permanece en ejecución durante toda la secuencia de operación, por lo que si ocurre algún disparo térmico, activación de un cable de seguridad, pegas o traslapes de llantas o errores en la comunicación de los PLC's, se generará la alarma y se desplegará el mensaje correspondiente en el PanelView, para que el operador atienda la situación.

6.2 Análisis

En resultados previos al desarrollo de este proyecto se notó un desperdicio de energía con el sistema de dosificación y atención a las bandas de descarga y las bandas transportadoras, ya que el número de llantas que se transportaban era muy bajo en comparación al tiempo que se tenían encendidas las bandas transportadoras, tal como se puede observar en la tabla 6.1 de resultados, además de la gran cantidad de casos de atención a las bandas de descarga fallidas, esto es, cuando se envía una señal de activación a un actuador para descargar las llantas de la banda de descarga y esta se encuentra vacía, por lo que además de la pérdida de energía eléctrica se pierde energía neumática.

En condiciones normales las bandas transportadoras están aproximadamente 50 minutos desocupadas, o sea, sin llantas. Lo que generara un desperdicio del 80% del tiempo de trabajo realizado. Al observar la tabla 6.2, en donde se encuentra el nuevo sistema de dosificación de atención de las bandas se notará una gran diferencia en cuanto a tiempos de atención. Se nota que la atención a las bandas de descarga fallidas se ha reducido a cero, la de acertadas a 100%, en todos los casos el tiempo de encendido de motores y el tiempo en que el conveyor no transporta llantas ha disminuido considerablemente. Obteniendo, en cuanto a temporización, los resultados esperados con los cambios realizados en el sistema.

En términos de cantidad de llantas transportadas por hora de trabajo efectivo de las bandas transportadoras, se tendría que la mayor cantidad transportadas con el sistema antiguo son 44, mientras que la menor cantidad con el nuevo sistema son 160, considerablemente más de un 70% que el anterior, haciendo más eficiente el traslado de las mismas.

Relacionado al sistema desarrollado, se puede mencionar que cumple a cabalidad los requerimientos establecidos por Firestone, en cuanto a seguridad, de fácil interpretación, con una interfaz gráfica “amigable”, con la documentación necesaria y estructurado para su entendimiento. Además, adicionándole rutinas de arranque y paro de motores más eficientes, evitando la generación de grandes picos de corriente que demandan más energía, con lógica de activación para las bandas de descarga, con el fin de evitar las pegas de llantas y traslado de las mismas en el menor tiempo posible, dando solución al problema establecido. Considerando el buen funcionamiento del sistema, en donde se contemplan mediante medidas de seguridad la integridad física de los operarios, la calidad de las llantas, la normativa de la empresa y la vida útil de las máquinas y dispositivos empleados.

Con respecto a la red requerida para la comunicación y sincronización entre los PLC's de las prensas vulcanizadoras y el panel principal de la Trinchera 4, se puede mencionar que se obtuvieron los resultados esperados, ya que este sistema de comunicación empleado proporciona rendimiento en tiempo real, es determinista y repetible, cumple con los estándares de compatibilidad con la transmisión de información entre dispositivos similares y es compatible con la programación y configuración de dispositivos Allen-Bradley.

Dentro de los compromisos establecidos por El Departamento de Proyectos de Firestone fue el desarrollo de una aplicación para un PanelView para el control y visualización de estados del sistema, además de la opción de selección entre un modo automático (por defecto) y un modo manual para situaciones especiales, tales como: mantenimiento preventivo y correctivo, errores de comunicación entre los PLC's de las prensas y el panel principal, activaciones de alarmas de seguridad, pegas de llantas o traslapes de las mismas. Esta interfaz le permite al operario observar el estado de los motores, bandas de descarga y los principales temporizadores del control del proceso, además del control de las mismas, haciendo más fácil la

comprensión del mismo. La aplicación se comunica con el PLC del panel principal para la obtención de datos y se emulan a través de “tags” o variables. De esta forma se logra visualizar el sistema mediante cambios en los colores o numéricos, de las distintas representaciones graficas de la línea de producción.

Como principal punto de partida para este proyecto se planteó la reducción del consumo de energía, por lo que una vez puesto en marcha el sistema se procedió con la medición de potencia para determinar el porcentaje de disminución del mismo. En la obtención de este dato se utilizó un analizador de calidad de potencia (HIOKI 3196). Para efectos de comparación era necesario el dato de consumo de potencia en el sistema antiguo y en el nuevo, por lo que se procedió inicialmente con estas mediciones. En la figura 6.1 se observa la conexión realizada para la obtención de los datos en un sistema trifásico de 480 VCA, en configuración de carga en delta de tres hilos; en la figura 6.2 se encuentra la medición de la potencia en función del tiempo de las bandas transportados y las bandas de descarga para el sistema en el modo de operación continuo, o sea, el antiguo. De donde se nota un comportamiento de la potencia prácticamente constante (8900W) en la hora de medición continua y en general para cualquier medición durante el día, ya que se comporta de la misma forma, indistintamente de la hora en que se realice la medición. De manera contraria, al analizar la figura 6.3 se puede ver que el nuevo sistema de control de las bandas existe una gran variación de potencia con respecto al tiempo, empezando en 0W y llegando hasta un máximo de 8900W, lo que se denominaría como un control ON-OFF de varios motores, que se repite aproximadamente cada diez minutos. Aunque en cada ciclo de encendido se presenta cierta simetría con los demás, no se podría decir que todos son iguales ni que se repiten con el mismo periodo, ya que esto dependerá de las prensas que están vulcanizando, de las llantas que se estén transportando, por mencionar algunos factores que son parte del proceso,

por lo que se tomó el ciclo que consumió mayor energía en seis horas de medición realizadas (ver figura 6.5).

Una vez recabados los datos de potencia, se procedió con el cálculo de la energía. Sabiendo que la integral de la potencia eléctrica en cierto periodo nos da la energía requerida en el mismo, se realizó la integración para los dos casos, dando un consumo de energía de 8.9Kwh con el sistema antiguo y 2.12Kwh con el nuevo, proporcionando una reducción en el consumo total del sistema de al menos 76.13%, logrando la meta y objetivo de este proyecto.

Es importante aclarar que el cálculo de energía realizado para el nuevo sistema se determinó bajo la condición de tomar el ciclo que requirió mayor consumo energético y además se multiplicó por 5, que es el mayor número de veces que se da el encendido-apagado del sistema en una hora de operación. Tomando en cuenta lo anterior, se puede decir que este cálculo representa el caso de consumo de energía más crítico, o sea, el mayor posible. Por lo que, hipotéticamente, si se tuvieran todas las prensas vulcanizadoras detenidas durante una hora se consumiría 0Kwh, dando un ahorro del 100% de la energía eléctrica, mientras que en las mismas condiciones el sistema antiguo consumiría aproximadamente 8.9Kwh.

Capítulo 7: Conclusiones y recomendaciones

7.1 Conclusiones

- Se logró un control automático eficiente en las bandas de descarga y las bandas transportadoras, en la línea de vulcanizado de llantas, denominada trinchera 4, de Firestone.
- Se logró la reducción en el consumo de la energía eléctrica de la Trinchera 4, en un 76.13% o más, mediante un control ON-OFF desarrollado en un PLC de Allen-Bradley.
- Se disminuyó aproximadamente un 80% el tiempo de encendido de los motores trifásicos, reduciendo su desgaste y aumentando su vida útil.
- Se logra el desarrollo de rutinas programadas para el accionamiento de actuadores, para el muestreo de sensores, para condiciones de seguridad tanto al operario como a las máquinas, para la solución de conflictos entre descarga de llantas, pegas y traslapes de mismas.
- Se trasladan al menos 160 llantas por hora de trabajo efectivo de las bandas transportadoras, con la implementación del nuevo sistema. Anteriormente sólo se transportaban 44(en el mejor de los casos medidos).
- Se disminuyó a cero las atenciones a bandas de descarga fallidas.
- Se logró establecer el estado de ciertos procesos de vulcanizado de llantas, haciendo posible la comunicación y sincronización en tiempo real del sistema, mediante una red Ethernet.
- Con la inserción de un modo manual y uno automático al sistema, se posee un mayor control sobre las bandas de descarga y las bandas transportadoras, además de brindar mayor seguridad al operario, ya que con este sistema no es necesario el contacto físico, sino que el

accionamiento de válvulas o actuadores se hace a través del PanelView y el PLC.

- Se logra la obtención de buenos resultados en la primer etapa de disminución del consumo eléctrico en las bandas transportadoras de todas las líneas de vulcanización de llantas.

7.2 Recomendaciones

Desarrollar, previamente a la puesta en marcha del sistema, aplicaciones de simulación en Wonderware® InTouch®, con el fin de hacer más rápidas, eficientes y con menos errores las etapas de depuración.

Desarrollar una aplicación de control automático de bandas transportadoras y bandas de descarga similar a la actual, pero con la posibilidad de atender más prensas vulcanizadoras, para implementarla en las demás líneas de producción o para una posible expansión de la misma.

Desarrollar una aplicación que determine cual de todas las prensas posee el menor tiempo de vulcanizado de llantas, para utilizarlo como referencia de inicio para el encendido de las bandas transportadoras. Ya que actualmente el dato de tiempo que posee programado el PLC, es un dato estadístico, debido a que cada vez que se cambia el molde o la receta de vulcanizado de llantas este valor varía.

En el caso del modo manual del sistema se deberán tener algunas consideraciones para su funcionamiento y cierto conocimiento del proceso de descarga y traslación de llantas, con el fin de evitar pegas de llantas, accionamientos erróneos en bandas de descarga, encendido de varios motores al mismo tiempo, además de ciertas condiciones y consideraciones contempladas en el modo de funcionamiento automático.

Bibliografía

- [1] UC, “Introducción a los PLC´s” [en línea].
<[http://www.ing.uc.edu.ve/~emescobar/automat_l/contenido_menu/Unidad IV/Contenido/pagina3/pagina3.htm](http://www.ing.uc.edu.ve/~emescobar/automat_l/contenido_menu/Unidad_IV/Contenido/pagina3/pagina3.htm)> [Consulta: 4 de noviembre de 2008]
- [2] Rockwell Automation, “Descripción general del sistema, Allen-Bradley” [en línea].
<http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/so/1747-so001_-es-p.pdf> [Consulta: 7 de noviembre de 2008]
- [3] ELECTRICA AB, S.A DE SV , “Redes de comunicación abiertas industriales” [en línea].
<http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/so/1747-so001_-es-p.pdf> [Consulta: 7 de noviembre de 2008]
- [4] Wikipedia, la enciclopedia libre , “Ethernet” [en línea].
<<http://es.wikipedia.org/wiki/Ethernet>> [Consulta: 4 de noviembre de 2008]
- [5] Chapman, Stephen J. Máquinas eléctricas. México: Mc Graw-Hill, 1988.
- [6] Rockwell Automation, “Installation Instruction, Allen-Bradley” [en línea].
<http://samplecode.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/in/9000-in001_-en-p.pdf> [Consulta: 4 de noviembre de 2008]
- [7] Loiola, Iban, “Diseño de un Diagrama Grafcet” [en línea].
<[http://www.sc.ehu.es/sbweb/webcentro/automatica/WebCQMH1/PAGINA %20PRINCIPAL/PROGRAMACION/GRAF CET/grafcet.htm](http://www.sc.ehu.es/sbweb/webcentro/automatica/WebCQMH1/PAGINA%20PRINCIPAL/PROGRAMACION/GRAF CET/grafcet.htm)> [Consulta: 7 de noviembre de 2008]
- [8] Wikipedia, la enciclopedia libre , “Energía eléctrica” [en línea].
<http://es.wikipedia.org/wiki/Energia_electrica> [Consulta: 15 de diciembre de 2008]

Anexos

Anexos A.1

Glosario

- **Vulcanización o vulanizado:** Proceso físico- químico que le brinda a la llanta las propiedades finales.
- **Actuadores:**
- **Prensas vulcanizadoras:** Máquina que le da las propiedades finales a las llantas.
- **Ladder:** Término utilizado para describir el tipo de programación de los PLC's, cada escalera o ladder es un archivo en el programa.
- **Scan:** Ciclo de ejecución o barrido de la lógica de programación
- **Rack's:** Bastidor destinado a alojar equipamiento electrónico, informático y de comunicaciones.
- **Trinchera:** Término utilizado por los empleados de Firestone para referirse a una línea de producción.
- **Sensores:** Dispositivo capaz de transformar magnitudes físicas o químicas en magnitudes eléctricas.
- **Switch:** es un dispositivo analógico de lógica de interconexión de redes de computadoras que opera en la capa 2 (nivel de enlace de datos) del modelo OSI
- **Tag:** se utiliza mucho en la programación, es una etiqueta para tener la identificación de un objeto ya programado, o sea, son un grupo de parámetros que definen una dirección del controlador
- **Periodo de horario Punta:** horario comprendido de 10:00 a 12:30 y de 17:30 a 20:00, según el CNFL.
- **Periodo de horario Valle:** horario comprendido de 6:00 a 10:00 y de 12:30 a 17:30, según el CNFL.

- **Periodo de horario Nocturno:** horario comprendido de 20:00 a 6:00, según el CNFL.

Abreviaturas

- **CSV:** Comma Separated Value
- **MMI:** Man-Machine interface
- **NAF:** Marca de algunas prensas vulcanizadoras
- **PLC:** Programable Logic Controler
- **E/S:** Entrada/Salida
- **N.A:** Referencia a un contacto normalmente abierto
- **N.C:** Referencia a un contacto normalmente cerrado
- **CNFL:** Compañía Nacional de Fuerza y Luz

Anexo B.1

Datos técnicos de los sensores fotoeléctricos



Series 9000

Description	Voltage	Sensing Range	Output Type	Output Energized	Connection Type	Part Number
Series 9000 Retroreflective	10-40V DC	51mm-9.1m	NPN/PNP	Light/Dark	4 Pin micro QD	42GRU-9000-QD
Series 9000 Retroreflective	10-55V DC 20-40V AC	51mm-9.1m	NPN/PNP	Light/Dark	2m 300V cable	42GRU-9001
Series 9000 Retroreflective	70-264VAC/DC	51mm-9.1m	SPDT Relay	Light /Dark	2m 300V cable	42GRU-9002
Series 9000 Retroreflective	70-264VAC/DC	51mm-9.1m	SPDT Relay	Light/Dark	5 pin mini QD	42GRU-9002-QD
Series 9000 Polarized Retroreflective	10-40V DC	51mm-4.9m	NPN/PNP	Light/Dark	4 pin micro QD	42GRU-9200-QD
Series 9000 Retroreflective	70-264VAC/DC	51mm-4.9m	SPDT Relay	Light/Dark	5 pin mini QD	42GRU-9202-QD

Anexo B.2

Características del medidor de potencia HIOKI 3196

HIOKI

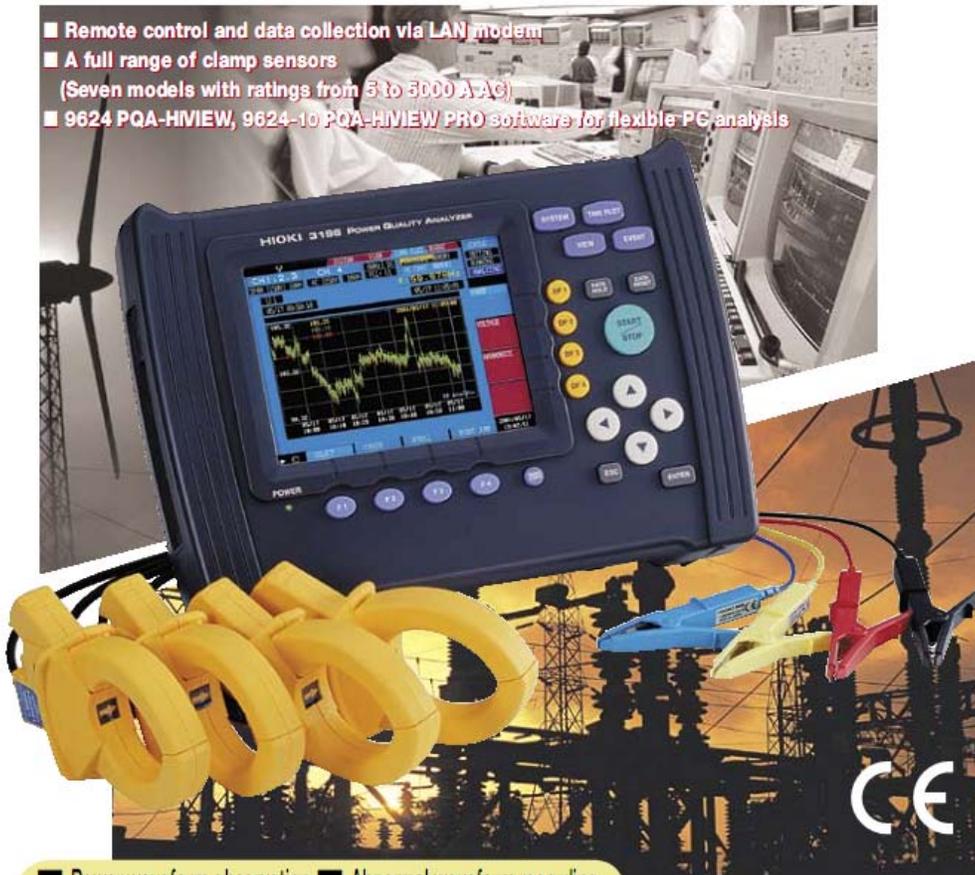
3196 POWER QUALITY ANALYZER

Power Measuring Instruments



Investigate All Your Power Quality Problems

- Remote control and data collection via LAN modem
- A full range of clamp sensors
(Seven models with ratings from 5 to 3000 A AC)
- 9624 PQA-HVIEW, 9624-10 PQA-HVIEW PRO software for flexible PC analysis



- Power waveform observation
 - Abnormal waveform recording
 - Harmonic measurement
 - Flicker measurement
 - Power measurement
- All in a single unit!

EN50160
IEC61000-4-30



ISO 9001
JMI-0216



ISO 14001
JQA-E-90091



<http://www.hioki.co.jp/>

HIOKI company overview, new products, environmental considerations and other information are available on our website.

9624-10 PQA-HVIEW PRO

New

Compatible to 400Hz Circuits!

Real-time data display for power supplies

Display waveform, vector, DMM, and harmonic data in real-time

The VIEW screen displays voltage/current waveforms, vector diagrams, DMM values (voltage, current, and power), and harmonic data. All data can be measured and processed simultaneously, and power conditions such as distortion factor, K factor, and the unbalance factor for three-phase lines can be monitored using the various data displays.

Connect the 3196 to a power source to display power line data in real-time

All power line conditions can be monitored from the VIEW screen!

- | | |
|---|--|
| <p>■ Display data in real-time</p> <ul style="list-style-type: none"> -1. Waveform display (voltage/current display, 4-channel voltage display, 4-channel current display) -2. Vector display -3. DMM display (power, voltage, and current displays) -4. Harmonics (graph and list displays) | <p>■ Power management through a rich array of information</p> <ul style="list-style-type: none"> -1. Check the distortion of power waveforms using electronic devices and electrical overloads. -2. Manage the phase of power lines. Check the phase and wiring of the VT (PT) and CT terminals. -3. Manage, maintain and check the unbalance factor, peak values, and distortion factor of power lines. -4. Assess and develop countermeasures to prevent the occurrence of harmonic power flow. |
|---|--|

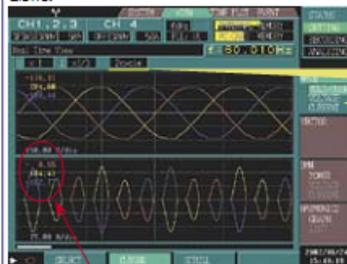
Check for proper instrument connection using the numerical value or vector display

Connect the 3196 to the power line to be monitored while viewing the connection diagram. Upon connection, you can confirm voltage, current, and power values. Further, through the vector display, you can verify proper connection of clamp-on current sensors to the VT (PT) and CT terminals.



Waveform display

This displays the voltage and current waveforms for each phase. Waveform display makes it easy to understand distortion conditions that (as with harmonics) are difficult to grasp from numerical values alone.



The cursor value is displayed.

Select a waveform display range of 2, 4, 10, or 12 cycles.

Display either dual screens for voltage and current, or waveforms for individual voltage and current phases.

DMM display

This displays detailed data for voltage, current, and power. View the data necessary for power management or maintenance and inspection of power lines at a single glance.



Detailed values for voltage, current and power are displayed.

Vector display

This displays the voltage and current vectors for each phase, as well as RMS values and phase angles as numerical values. Easily check the phase of three-phase lines and harmonics.

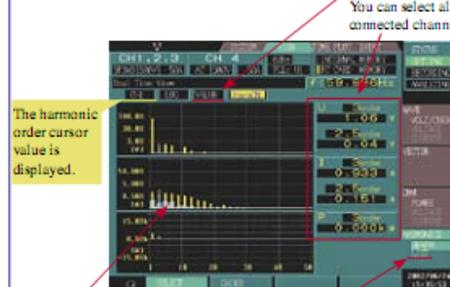


Display the fundamental voltage waveform for the 1st order (U1, U2, and U3) as a phase angle of 360° as a standard. Ideal for checking three-phase power lines.

Displays the unbalance factor when measuring three-phase power lines. (For 3P3W3M and 3P4W settings)

Harmonics display

This displays harmonics and inter-harmonics data in a graph or list. You can also display the phase difference for each harmonic order, and work out the current direction for harmonics.



The harmonic order cursor value is displayed.

You can select all of the connected channels.

Inter-harmonics display (light blue)

Detailed numerical data for up to the 50th harmonic order is displayed in a list.

Anexo B.3

Características del PLC de Allen-Bradley SLC 5/04



Control the Future Today with Allen-Bradley's SLC 500™ Processors: Small Controllers for Big Applications

5/01, 5/02, 5/03, 5/04, 5/05 Processors



The SLC 500 line of small programmable controllers are some of the most powerful and flexible processors available. The SLC family offers a wide range of communications, features, and memory options.

- The 5/05 processor includes built-in 10Base-T Ethernet®.
- Communications enhancements enable the 5/03, 5/04, and 5/05 to provide master control of SCADA networks.
- Powerful features including indirect addressing, high-level math capability, and a compute instruction.
- The 5/04 and 5/05 processors provide 3 memory size options: 16K, 32K, and 64K.
- The 5/03 processor provides 2 memory size options: 8K and 16K.
- The 5/02 is available with 4K; the 5/01 is available with 1K or 4K.

**Capacity to do More,
Flexibility to Cost Less**

With up to 64K of configurable data/program memory available, the SLC 500 line has the power, flexibility, and expanded I/O selection to take on applications that previously required larger, more expensive control solutions. The 5/02, 5/03, 5/04, and 5/05 processors can address up to 4,096 input points and 4,096 output points. And, if less than 64K of memory will get your job done, you can take cost out of your project by using one of the many other memory sizes available.

**Versatility for Stand-alone
Control or Distributed
Architectures**

Stand-alone applications from Agriculture to Zinc mining are ideal for the SLC 500 because of:

- Cost effectiveness
- Small size
- Wide variety of I/O available
- Ease of expansion to include up to 30 slots of local I/O

Distributed applications can take advantage of six networking options:

- Ethernet
- Data Highway Plus™
- DH-485
- Remote I/O
- DeviceNet™
- RS-232

Anexo B.4

Descripción de la empresa

En 1967 inicia sus operaciones en territorio costarricense, en La Rivera de Belén, Heredia, la compañía Firestone, con una producción de 425 llantas y con una participación de 200 empleados en labores de producción, ventas y administración.

En 1995 la compañía realiza una alianza estratégica con la corporación Bridgestone/Firestone, la mayor fabricante de llantas a nivel mundial. Pero unos años después cambia su razón social (o nombre) a Bridgestone Firestone de Costa Rica S.A, esto se da en 1999.

Hoy Bridgestone Firestone de Costa Rica S.A., es una empresa vanguardista con tecnología avanzada de manufactura de llantas y algunos productos secundarios como bandas de recauche, material para reparaciones y cementos, productos que se comercializan en Estados Unidos, Centro América, el Caribe y otras latitudes. Llegando a una producción de 12000 llantas diarias y aproximadamente 1000 empleados.

Anexo C.1

Manual de usuario

Seguidamente se muestra una serie de pantallas para el control y visualización del sistema, además de una breve descripción de sus funciones.

La pantalla principal (Figura 1), muestra la distribución de las prensas y de las bandas transportadoras con sus respectivos sensores, además de los botones para el control de las mismas. Así mismo los temporizadores para la activación y desactivación de las bandas transportadoras y el estado del modo manual del sistema (Activado o Desactivado).

Descripción de los botones de control:

F1: Activación de los motores de bandas transportadoras, se empieza con el encendido de M7 y se termina con M1, con un intervalo de encendido entre cada motor de 2 segundos.

F2: Se activan los motores de las bandas de transportadoras, con el mismo comportamiento que se tiene al oprimir **F1**, adicionalmente se tomaran todas las bandas de descarga en estado de ocupadas y se procede con la atención de las mismas. Primeramente se atienden las bandas de descarga de las prensas NAF80 y NAF82, seguidamente las prensas NAF81 y NAF84 y por ultimo las NAF85 y la NAF86, una vez transcurrido el tiempo de encendido de las bandas el sistema seguirá su funcionamiento normal, o sea, en modo automático.

F3: Selección del modo manual del sistema

F4: Selección de la pantalla del estado de los cables de emergencia

F5: Selección de la pantalla del estado de los disparos térmicos en los motores

F6: Selección de la pantalla del historial de alarmas

F7: Reset del sistema, reinicia los registros y temporizadores del PLC.

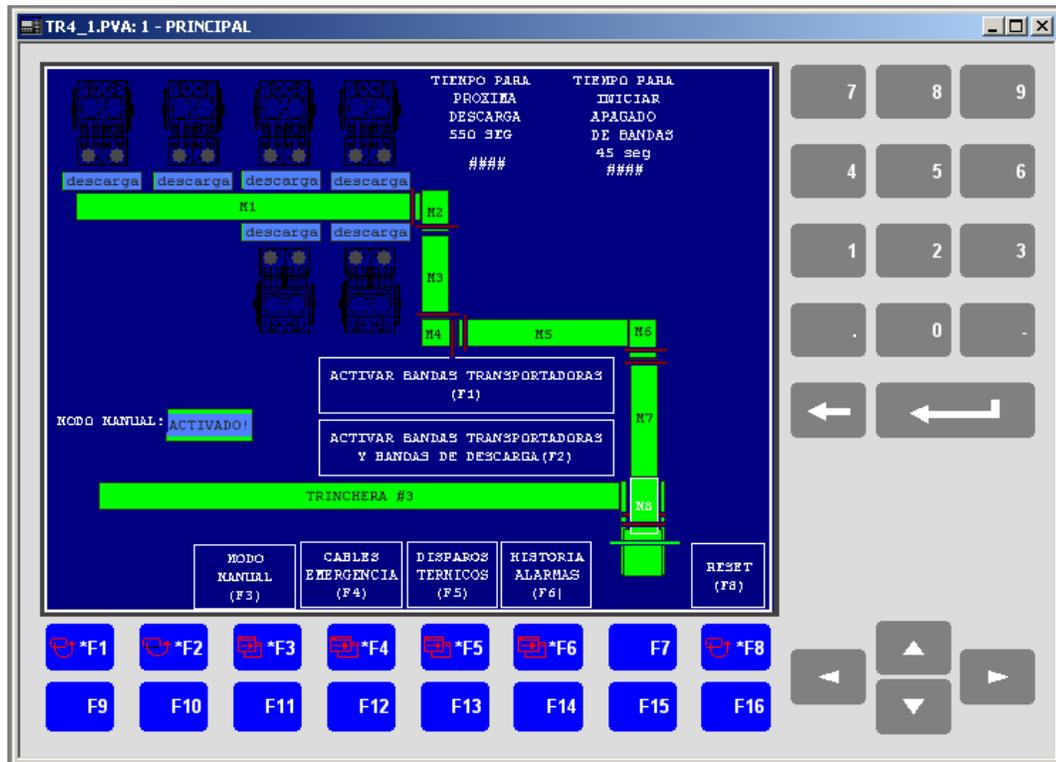


Figura D.1.1 Pantalla principal de la interfaz entre el sistema de control y el operario, con control y visualización del proceso de activación y transporte de las bandas.

En el modo manual existen dos pantallas, una para la activación de este modo y para la activación de las bandas de descarga (ver figura 2). Una vez que se activa este modo (**F2**), aparecerá la etiqueta del modo manual como “MODO MANUAL: ACTIVADO!” el control del proceso será tomado por el operador para accionar las descargas manualmente. Por ejemplo, si lo que se quiere es activar la banda de descarga de la prensa NAF81, se debe oprimir el botón **F11**, o si lo que se quiere activar es la banda de descarga de la prensa NAF85, se oprime el botón **F15**.

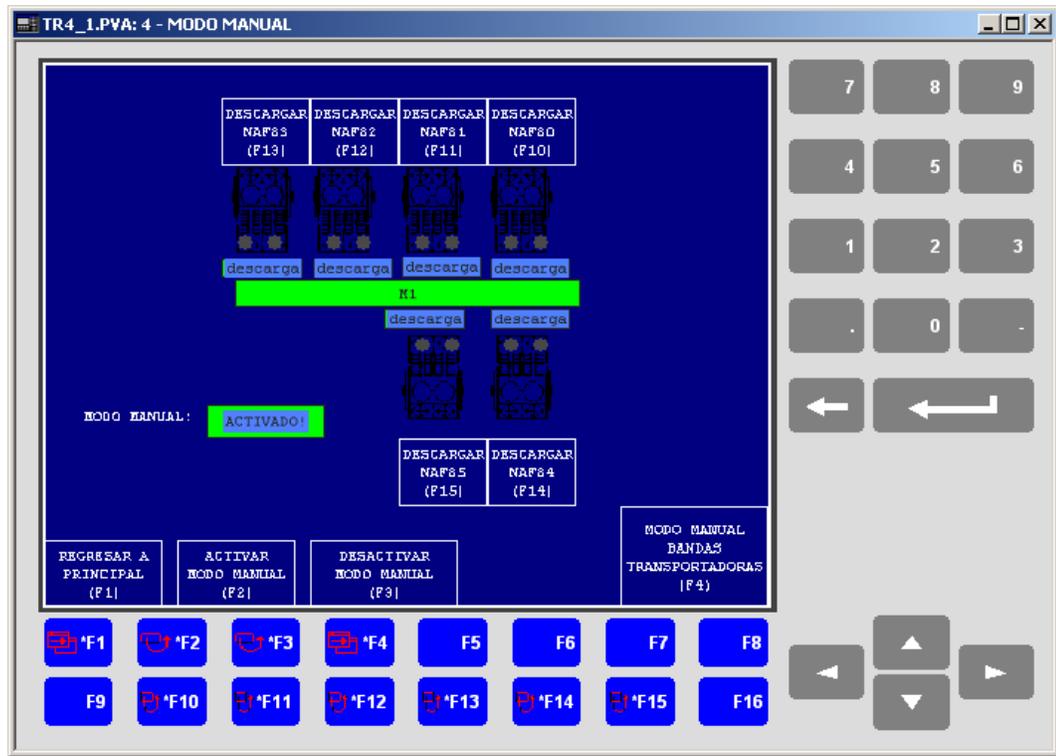


Figura D.1.2 Pantalla de activación de bandas de descarga, en modo manual.

En la pantalla de la Figura 3, se tiene el control de encendido y apagado de las bandas transportadoras, en donde se podrán accionar las que se necesiten únicamente. Por ejemplo, si lo que se desea es encender el motor de la banda M1, se debe accionar el botón **F4**. Una vez encendidos los motores por el usuario estos permanecerán indefinidamente hasta que se oprima (en esta misma pantalla) el botón **F16**, es claro que la secuencia y el intervalo de encendido de los motores quedará a criterio del operador, por lo que en esta caso no se podrá tener control sobre picos de corriente al encender varios motores al mismo tiempo, pegas de llantas, ni algunas situaciones contempladas en el modo automático.

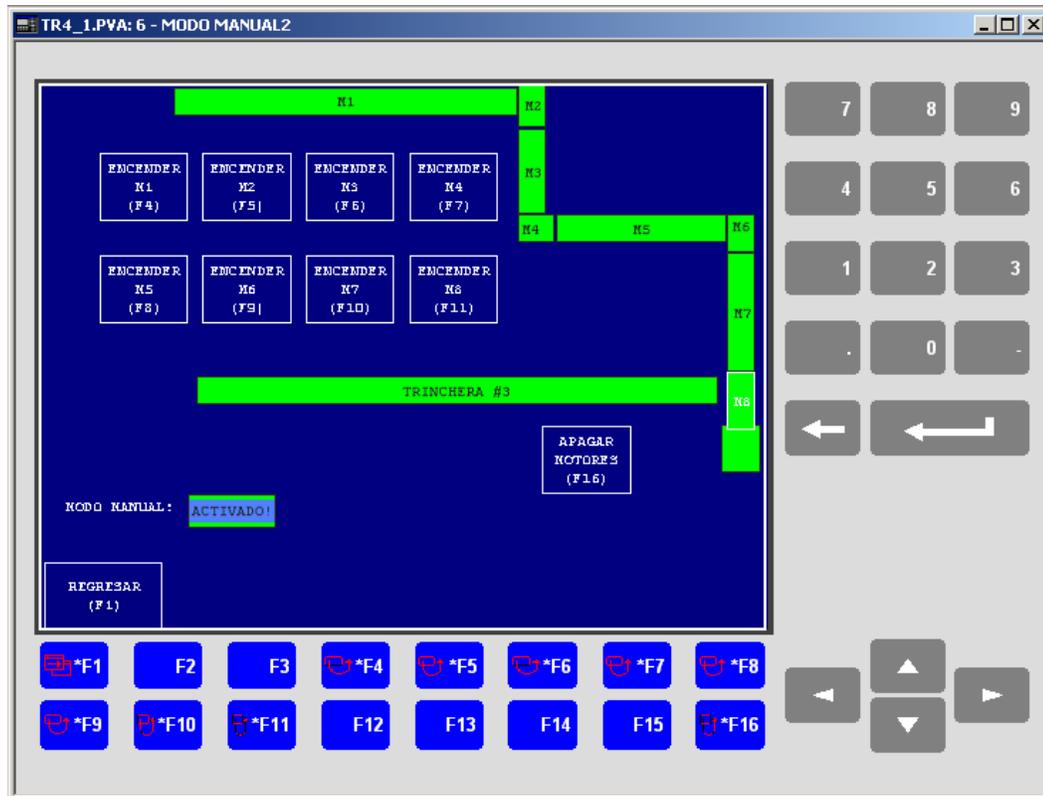


Figura D.1.3 Pantalla de activación de bandas de transportadoras, en modo manual.

Para salir de la pantalla de activación de motores, basta con oprimir el botón **F1** y retornará a la pantalla anterior (Activaciones de StopGates, figura D.1.2), de la cual se pueden realizar las activaciones necesarias de los StopGates. Para salir del modo manual se debe oprimir, dentro de esta misma pantalla, el botón **F3**, donde se mostrará en la pantalla la lectura de “MODO MANUAL:DESACTIVADO!”. Una vez desactivado en este modo se puede retornar a la pantalla principal para visualizar el proceso en forma automática.

Fórmulas y cálculos

Formulas utilizadas en analizador de calidad de energía en la determinación de la potencia eléctrica.

RMS voltage U (V rms)

Single-phase 2-wire 1P2W	Single-phase 3-wire 1P3W	Three-phase 3-wire 3P3W2M	Three-phase 3-wire 3P3W3M	Three-phase 4-wire 3P4W
$U1$ $U4$ $Uc = \sqrt{\frac{1}{M} \sum_{s=0}^{M-1} (Ucs)^2}$	$U1$ $U2$ $U4$	line-to-line voltage $U_{12} = \sqrt{\frac{1}{M} \sum_{s=0}^{M-1} (U1s)^2}$ $U_{32} = \sqrt{\frac{1}{M} \sum_{s=0}^{M-1} (U2s)^2}$ $U4$	Line-to-line voltage $U_{12} = \sqrt{\frac{1}{M} \sum_{s=0}^{M-1} (U1s)^2}$ $U_{23} = \sqrt{\frac{1}{M} \sum_{s=0}^{M-1} (U2s)^2}$ $U_{31} = \sqrt{\frac{1}{M} \sum_{s=0}^{M-1} (U3s)^2}$ $U4$	Phase-to-neutral voltage $U1$ $U2$ $U3$ $U4$
		Phase-to-neutral voltage _____	Phase-to-neutral voltage $U_1 = \sqrt{\frac{1}{M} \sum_{s=0}^{M-1} \left(\frac{U1s - U3s}{3} \right)^2}$ $U_2 = \sqrt{\frac{1}{M} \sum_{s=0}^{M-1} \left(\frac{U2s - U1s}{3} \right)^2}$ $U_3 = \sqrt{\frac{1}{M} \sum_{s=0}^{M-1} \left(\frac{U3s - U2s}{3} \right)^2}$ $U4$	Line-to-line voltage $U_{12} = \sqrt{\frac{1}{M} \sum_{s=0}^{M-1} (U1s - U2s)^2}$ $U_{23} = \sqrt{\frac{1}{M} \sum_{s=0}^{M-1} (U2s - U3s)^2}$ $U_{31} = \sqrt{\frac{1}{M} \sum_{s=0}^{M-1} (U3s - U1s)^2}$ $U4$
	$U_{ave} = \frac{1}{2}(U1 + U2)$	Line-to-line voltage $U_{ave} = \frac{1}{2}(U_{12} + U_{32})$	Line-to-line voltage $U_{ave} = \frac{1}{3}(U_{12} + U_{23} + U_{31})$	Phase-to-neutral voltage $U_{ave} = \frac{1}{3}(U1 + U2 + U3)$
		Phase-to-neutral voltage _____	Phase-to-neutral voltage $U_{ave} = \frac{1}{3}(U1 + U2 + U3)$	Line-to-line voltage $U_{ave} = \frac{1}{3}(U_{12} + U_{23} + U_{31})$
<ul style="list-style-type: none"> • RMS voltage is calculated about once every 10 cycles at 50 Hz or every 12 cycles at 60 Hz with a single wave (256 points). • Make the neutral point the center and calculate the phase-to-neutral voltage for three-phase 3-wire connections. The RMS voltage for CH4 can be calculated regardless of the connection method. • Use the line-to-line voltage calculated for three-phase 3-wire and three-phase 4-wire connections to calculate ΔV_{10}. (See the formula for ΔV_{10}.) 				

c: measured channel M: number of samples s: number of sampling points

RMS current I (A rms)

Single-phase 2-wire 1P2W	Single-phase 3-wire 1P3W	Three-phase 3-wire 3P3W2M	Three-phase 3-wire 3P3W3M	Three-phase 4-wire 3P4W
I_1 I_4 $I_c = \sqrt{\frac{1}{M} \sum_{s=0}^{M-1} (I_{cs})^2}$	I_1 I_2 I_4	I_1 I_2 I_4	I_1 I_2 I_3 I_4	I_1 I_2 I_3 I_4
—————	$I_{ave} = \frac{1}{2}(I_1 + I_2)$	$I_{ave} = \frac{1}{2}(I_1 + I_2)$	$I_{ave} = \frac{1}{3}(I_1 + I_2 + I_3)$	$I_{ave} = \frac{1}{3}(I_1 + I_2 + I_3)$
<ul style="list-style-type: none"> • Calculate RMS current about once every 10 cycles at 50 Hz and every 12 cycles at 60 Hz with a single wave (256 points). • The RMS current for CH4 can be calculated regardless of the connection method. 				

c: measured channel M: number of samples s: number of sampling points

Active power P (W)

Single-phase 2-wire 1P2W	Single-phase 3-wire 1P3W	Three-phase 3-wire 3P3W2M	Three-phase 3-wire 3P3W3M	Three-phase 4-wire 3P4W
P_1 $P_c = \frac{1}{M} \sum_{s=0}^{M-1} (U_{cs} \times I_{cs})$	P_1 P_2	P_1 P_2	P_1 P_2 P_3	P_1 P_2 P_3
—————	$P_{sum} = P_1 + P_2$	$P_{sum} = P_1 + P_2$	$P_{sum} = P_1 + P_2 + P_3$	$P_{sum} = P_1 + P_2 + P_3$
<ul style="list-style-type: none"> • Calculate active power about once every 10 cycles at 50 Hz or every 12 cycles at 60 Hz with a single wave (256 points). • For three-phase 3-wire 3M and three-phase 4-wire connections, use phase-to-neutral voltage as the voltage waveform U_{cs}. Three-phase 3-wire 3M: $U_{1s} = (U_{1s} - U_{3s})/3$, $U_{2s} = (U_{2s} - U_{1s})/3$, and $U_{3s} = (U_{3s} - U_{2s})/3$ • Polarity symbols for active power P indicate the power direction when power is being consumed (+P) and when power is being regenerated (-P). 				

c: measured channel M: number of samples s: number of sampling points

Cálculos de consumo de energía (Kwh), a partir de las aproximaciones realizadas en Microsoft Excel, para las figuras 6.4 y la figura 6.5

Primeramente se realizará la aproximación de la energía, antes de realizar los cambios en el sistema. Sabiendo que la energía (E) es la integral de la potencia con respecto al tiempo en cierto periodo se tiene:

$$E = \int_{t_1}^{t_2} P(t) dt [Kwh]$$

Integrando en el intervalo de 0 a 3600 segundos, se tiene:

$$E = \int_0^{3600} 8900 dt = 32.04 \times 10^6 \text{Ws}$$

$$E = 32.04 \times 10^6 \text{Ws}$$

Pasando de unidades de segundos a hora,

$$8900 \text{Wh} = 8.9 \text{Kwh}$$

E = 8.9Kwh, para el sistema antiguo.

Seguidamente se realizará la aproximación de la energía, después de haber realizado los cambios en el sistema.

De igual forma que en el cálculo anterior,

Integrando en los distintos intervalos de tiempo, se tiene:

$$E_{un\ ciclo} = \int_{1092}^{1226} 8900 dt + \int_{1226}^{1380} 1100 dt + \int_{1380}^{1420} 1900 dt + \int_{1420}^{1502} 1100 dt$$

$$E_{un\ ciclo} = 1529300 \text{Ws}$$

Pasando de unidades de segundos a hora,

$$E_{un\ ciclo} = 424.81 \text{Wh} = 0.42481 \text{Kwh}$$

Ahora, sabiendo que este ciclo se repite 5 veces por hora (en el peor de los casos), se tiene que el consumo de energía con el nuevo sistema es:

$$E = E_{un\ ciclo} \times 5 \text{veces}$$

$$\mathbf{E = 2.124Kwh}$$