



PONTIFICIA **UNIVERSIDAD CATÓLICA** DEL PERÚ

Esta obra ha sido publicada bajo la licencia Creative Commons
Reconocimiento-No comercial-Compartir bajo la misma licencia 2.5 Perú.

Para ver una copia de dicha licencia, visite
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



PONTIFICIA
**UNIVERSIDAD
CATÓLICA**
DEL PERÚ

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE AUTOMATIZACION PARA EL
SISTEMA DE ILUMINACIÓN DE UNA PLANTA INDUSTRIAL**

Tesis para optar el Título de Ingeniero Electrónico, que presenta el bachiller:

Anguie María del Milagro Contreras Iglesias

Asesores: Ing. Juan Huapaya Camacho e Ing. Julio Tafur Sotelo

Lima, agosto del 2010

RESUMEN

Actualmente existe un aumento constante del consumo de energía, la modernización de los procesos industriales y el crecimiento económico son las principales causas de este fenómeno. Ante esta realidad, el uso eficiente de este recurso se convierte hoy en día en una prioridad con el fin de preservar los recursos energéticos y establecer cambios oportunos orientados al desarrollo sostenible en armonía con el medio ambiente.

El sector industrial se constituye hoy en día en un potencial consumidor de energía eléctrica, sin embargo muchas de sus instalaciones no cuentan con un control y uso adecuado de energía. Muestra de ello son los sistemas de iluminación, pues se han identificado numerosas deficiencias en torno a su uso siendo la más crítica mantener encendidas las lámparas durante periodos no productivos, lo cual conlleva a incrementar el impacto económico para la empresa y ambiental para el mundo.

En la presente tesis se diseña un sistema de automatización para el sistema de iluminación de una planta industrial que permita optimizar el uso de energía eléctrica evitando que las lámparas permanezcan encendidas durante períodos no productivos. Es decir, se diseñará la automatización de alumbrado que asegure una iluminación de calidad durante el tiempo que sea necesario.

El diseño consta de la selección de sensores y actuadores, diseño de un programa en lenguaje "Ladder" que permita controlar la secuencia de encendido de los contactores de fuerza de los circuitos de iluminación en función a los períodos de producción y la señal de sensores en las zonas elegidas. Así mismo se ha diseñado la interfaz de usuario la cual permite: ingresar los horarios de producción, realizar el control manual de los circuitos de iluminación desde la interfaz y monitoreo de horas de consumo. El usuario podrá controlar el sistema de iluminación a través de la interfaz de usuario la cual estará comunicada con el controlador a través de una red industrial que también será diseñada. Como parte del desarrollo de la tesis, se hicieron pruebas aisladas y se comprobó el correcto funcionamiento del programa implementado mediante la comunicación de una computadora personal con el controlador, así mismo, las pruebas realizadas verifican la respuesta en tiempo real del controlador empleado en el diseño.

DEDICATORIA

Hoy se concreta uno de mis objetivos: “Obtener el Título de Ingeniera Electrónica”, alcanzarlo motiva en mi un sin número de perspectivas, que sin duda me encaminan y comprometen a perfeccionar y aplicar con creatividad los diferentes conocimientos recibidos durante los cinco años de formación universitaria.

No podría dejar pasar este logro sin reconocer a quienes me acompañaron y fortalecieron desde siempre:

*A **Dios**, el Ser Supremo, quien nos da la vida e ilumina nuestro camino,
A mi **Mami Esther**, por esa calidez y sonrisa que alegran mis días,
A mis padres, **María y Luis**, por sus orientaciones, apoyo, paciencia; por estar conmigo siempre que lo necesito,
Al equipo de mantenimiento “**Los Infalibles**”, en especial a **Miguel y Manuel**, por motivar y facilitar el desarrollo del presente tema de tesis,
A mis asesores, **Julio y Juan**, por su compromiso, dedicación y paciencia,
A mi querido **Alejandro**, quien como colega permitió aclarar y simplificar dudas,
A mi compañera de siempre, mi querida mascota **Perlita**, quien con sus pasitos irrumpió el cansancio y sueño en las noches de desvelo,
A todos mis **familiares y amigos**, quienes forman parte importante en mi vida*

Esperando que esta investigación sirva de aporte a profesionales de la carrera y con el compromiso de seguir dando lo mejor; quedo desde ya agradecida por siempre.

Angie Contreras Iglesias

INDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 2.1. Análisis de costo beneficio de reemplazar fluorescentes con leds | 10 |
| Tabla 2.2. Comparación entre balasto convencional y balasto electrónico | 11 |
| Tabla 2.3. Tecnologías disponibles en sensores de presencia | 12 |
| Tabla 2.4. Ahorros de alternativas mencionadas para ahorro de energía | 15 |
| Tabla 3.1. Descripción de sectores a controlar en Líneas de Galletería | 18 |
| Tabla 3.2. Descripción de almacenes de producto terminado | 19 |
| Tabla 3.3. Descripción de aduanas | 19 |
| Tabla 3.4. Resumen de las tecnologías de control a considerar por sector en la planta de estudio | 20 |
| Tabla 3.5. Requerimientos para sensor en zona de almacenes de producto terminado | 27 |
| Tabla 3.6. Sensores Ultrasónicos posibles a usar en almacenes | 27 |
| Tabla 3.7. Sensores Fotoeléctricos disponibles para considerar en el diseño | 28 |
| Tabla 3.8. Sensores disponibles para considerar en el diseño | 29 |
| Tabla 3.9. Tecnologías posibles a utilizar como actuador | 32 |
| Tabla 3.10. Características de equipos de iluminación instalados en la planta..... | 33 |
| Tabla 3.11. Requerimientos de Entradas | 34 |
| Tabla 3.12. Requerimiento de Salidas – PLC1 y PLC2 | 35 |
| Tabla 3.13. Distribución por slots para cada chasis..... | 36 |
| Tabla 3.14. Capacidades de Corriente por Fuente de Alimentación | 36 |
| Tabla 3.15. Corriente de carga para Chasis 1-PLC1 | 36 |
| Tabla 3.16. Corriente de carga para Chasis 2-PLC2 | 37 |
| Tabla 3.17. Nodos en la red de comunicación DH-485 diseñada | 40 |
| Tabla 3.18. Distribución de Tableros de Control..... | 42 |
| Tabla 5.1 Ahorros estimados con la implementación del sistema de control propuesto | 59 |
| Tabla 5.2. Flujo de Caja del Proyecto | 61 |
| Tabla 5.3. Valor Actual Neto (VAN)..... | 62 |

INDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1.1. Distribución de Consumo Energético en una planta industrial | 3 |
| Figura 1.2. Distribución de Facturación de Consumo de Gas Natural y Electricidad .. | 3 |
| Figura 1.3. Distribución de principales áreas consumidoras de Energía Eléctrica | 4 |
| Figura 1.4. Distribución de consumo de energía eléctrica en Líneas de Producción . | 5 |
| Figura 1.5. Consumo de energía eléctrica en áreas de producción (Consumo Normal Vs. Consumo con control manual)..... | 7 |
| Figura 2.1. Requerimientos en iluminación para empresas industriales | 9 |
| Figura 2.2. Ventajas de emplear la tecnología de los LEDS | 9 |
| Figura 2.3. Comparación entre una PC, un PLC y un PAC | 14 |
| Figura 2.4. Niveles de Automatización | 14 |
| Figura 2.5. Redes de Comunicación en distintos niveles de automatización | 14 |
| Figura 3.1. Diagrama de Flujo de Variables Internas en el Diseño del Sistema de Automatización de Iluminación | 22 |
| Figura 3.2. Diagrama de Flujo de Variables Internas en la Operación y Control en Modo Manual y Automático | 23 |
| Figura 3.3. Diagrama de Bloques del Sistema de Automatización de Iluminación | 26 |
| Figura 3.4. Panel de Operador Panel View Plus 600 | 31 |
| Figura 3.5. Cálculo de corriente de diseño para elección de contactor | 33 |
| Figura 3.6. Componentes básicos de un Sistema SLC 500 | 34 |
| Figura 3.7. Cable Belden # 9842 | 38 |
| Figura 3.8. Acoplador de Vínculo Aislado 1747-AIC | 38 |
| Figura 3.9. Visualización de dispositivos conectados en una red DH-485..... | 39 |
| Figura 3.10. Conexiones entre controladores y paneles de operador en red de comunicación | 41 |
| Figura 3.11. Diagrama de Flujo Genérico ejecutado por el PLC1 y PLC2..... | 46 |
| Figura 3.12. Pantalla de Ingreso de Contraseña | 47 |
| Figura 3.13. Pantalla de Menú para Usuario Administrador | 48 |
| Figura 3.14. Pantalla de Menú Modo Automático | 48 |

| | |
|---|----|
| Figura 3.15. Pantalla de Configuración en Menú Modo Automático | 49 |
| Figura 3.16 Ejemplo de menú a mostrar al ingresar clave del área de galletería | 50 |
| Figura 3.17. Ejemplo de zona a controlar en Modo Manual | 50 |
| Figura 3.18. Pantalla de Visualización de Consumo de Energía | 51 |
| Figura 3.19. Pantalla de Registro de Consumos Acumulados por meses | 51 |
| Figura 4.1. Actualización de fechas en el PLC y la interfaz HMI | 52 |
| Figura 4.2. Fecha Actual en el PLC | 53 |
| Figura 4.3. Validación de contraseñas por usuario | 53 |
| Figura 4.4. Funcionamiento en Modo Automático | 54 |
| Figura 4.5. Simulación de Funcionamiento en Modo Automático | 54 |
| Figura 4.6. Actualización de tiempo de consumo por circuito | 55 |
| Figura 4.7. Representación de consumo en Kw/h | 55 |
| Figura 4.8. Verificación de estado de circuitos para activación en Modo Manual | 56 |
| Figura 4.9. Control de los circuitos de iluminación en Modo Manual | 57 |
| Figura 4.10. Simulación de control en Modo Manual | 57 |
| Figura 4.11. Simulación de funcionamiento de sensores | 58 |
| Figura 5.1. Fórmula Valor Actual Neto (VAN) | 62 |
| Figura 5.2. Gráfico para calcular el PRI | 63 |
| Figura 5.3. Fórmula Tasa Interna de Retorno (TIR) | 63 |

INDICE

| | |
|--|-----------|
| CAPITULO 1. CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN UNA PLANTA INDUSTRIAL | 2 |
| 1.1 Distribución de Consumo Energético | 2 |
| 1.2 Distribución de Facturación de Consumo Energético..... | 3 |
| 1.3 Distribución de Fuentes Consumidoras de Energía Eléctrica..... | 4 |
| 1.4 Deficiencias en el manejo de iluminación | 5 |
| CAPÍTULO 2. ALTERNATIVAS PARA EL USO EFICIENTE DE LA ILUMINACIÓN INDUSTRIAL | 8 |
| 2.1. Uso eficiente de la iluminación..... | 8 |
| 2.1.1. Lámparas eficientes..... | 8 |
| 2.1.2. Balastos electrónicos..... | 10 |
| 2.1.3. Sistemas de Control de Iluminación..... | 11 |
| 2.1.3.1 Sensores | 12 |
| 2.1.3.1.1 Sensores de Presencia..... | 12 |
| 2.1.3.1.2 Sensores Fotoeléctricos | 12 |
| 2.1.3.1.3 Dispositivos de entrada..... | 13 |
| 2.1.3.1.4 Controlador..... | 13 |
| 2.1.3.1.5 Redes de Comunicación Industrial..... | 14 |
| CAPÍTULO 3. DISEÑO DEL SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN: HARDWARE Y SOFTWARE | 16 |
| 3.1. Descripción general de zonas a controlar | 16 |
| 3.2. Características del diseño..... | 20 |
| 3.2.1. Tecnologías a considerar en el Sistema de Automatización | 20 |
| 3.2.2. Especificaciones complementarias en el diseño | 21 |
| 3.2.3. Variables internas en el diseño | 21 |
| 3.3. Diseño de Sistema de Automatización..... | 25 |
| 3.3.1. Hipótesis..... | 25 |
| 3.3.2. Objetivos | 25 |

| | | |
|-------------|---|----|
| 3.3.2.1 | Objetivo General..... | 25 |
| 3.3.2.2 | Objetivos Específicos..... | 25 |
| 3.4. | Diagrama de Bloques | 26 |
| 3.5. | Diseño de Hardware | 26 |
| 3.5.1. | Dispositivos de Entrada | 26 |
| 3.5.1.1. | Sensores | 26 |
| 3.5.1.1.1 | Selección de sensores en Almacenes de Producto Terminado..... | 27 |
| 3.5.1.1.1.1 | Sensor Ultrasónico W-2000 | 27 |
| 3.5.1.1.1.2 | Sensor Fotoeléctrico con regulación de sensibilidad..... | 28 |
| 3.5.1.1.2 | Selección de sensores en Aduanas..... | 29 |
| 3.5.1.1.2.1 | Sensor infrarrojo WPIR | 29 |
| 3.5.1.1.3 | Fuente de Alimentación para sensores de presencia..... | 29 |
| 3.5.1.2 | Interfaz de Usuario | 30 |
| 3.5.2 | Actuadores | 31 |
| 3.5.2.1 | Comparación de Tecnologías y componente seleccionado..... | 31 |
| 3.5.2.2 | Componente seleccionado | 32 |
| 3.5.3 | Familia de Controladores Lógico Programables SLC 500..... | 33 |
| 3.5.3.1 | Componentes Básicos de un Sistema SLC 500..... | 33 |
| 3.5.3.1.1 | Selección de módulos de entrada..... | 34 |
| 3.5.3.1.2 | Selección de módulos de salida..... | 34 |
| 3.5.3.1.3 | Selección de procesador | 35 |
| 3.5.3.1.4 | Selección de Chasis | 35 |
| 3.5.3.1.5 | Selección de Fuente de Poder..... | 36 |
| 3.5.4 | Selección de Red de Comunicación Industrial | 37 |
| 3.5.4.1 | Descripción de la Red DH-485..... | 37 |
| 3.5.4.2 | Consideraciones de Hardware..... | 38 |
| 3.5.4.2.1 | Cable Belden #9842 | 38 |
| 3.5.4.2.2 | Acoplador de Vínculo Aislado 1747-AIC | 38 |

| | |
|--|----|
| 3.5.4.3 Consideraciones de Software | 39 |
| 3.5.4.3.1 Software RsLinx..... | 39 |
| 3.5.4.3.2 Número de nodos | 39 |
| 3.5.4.3.3 Parámetros a configurar en los componentes de la red | 40 |
| 3.5.5 Diseño de conexiones eléctricas..... | 40 |
| 3.5.5.1 Conexiones entre controladores y paneles de operador | 40 |
| 3.5.5.2. Cableado de fuerza de interruptores termo magnéticos y contactores..... | 42 |
| 3.5.5.3 Cableado de módulos de entrada a sensores en aduanas y almacenes..... | 42 |
| 3.5.5.4 Cableado de mando de las bobinas de contactores a los módulos de salida de los PLC. | 43 |
| 3.5.6 Diseño de Software | 43 |
| 3.5.6.1 Programación en Lenguaje Ladder para SLC 500 5/03 | 43 |
| 3.5.6.1.1 RsLogix 500..... | 43 |
| 3.5.6.1.2. Funciones implementadas en Lenguaje Ladder..... | 43 |
| 3.5.6.1.2.1 Actualización de la fecha del PLC..... | 43 |
| 3.5.6.1.2.2 Actualización de fecha para la configuración en Modo Automático | 44 |
| 3.5.6.1.2.3 Modo Automático y Modo Manual..... | 45 |
| 3.5.6.1.2.4 Cálculos de Consumos Teóricos..... | 45 |
| 3.5.6.1.2.5 Administración de Usuarios por Password..... | 46 |
| 3.5.6.1.2.6 Activación de circuitos mediante sensores..... | 46 |
| 3.5.6.1.2.7 Activación y desactivación de circuitos de iluminación..... | 47 |
| 3.5.6.2 Programación para el Panel View 600 | 47 |
| 3.5.6.2.1 PanelBuilder 32 | 47 |
| 3.5.6.2.2 Funciones implementadas en el panel de operador | 47 |
| 3.5.6.2.2.1 Validación de Contraseña | 47 |
| 3.5.6.2.2.2 Pantalla de Menú para Mantenimiento..... | 48 |
| 3.5.6.2.2.3 Pantalla de Modo Automático | 48 |
| 3.5.6.2.2.4 Pantallas de Configuración en Modo Automático..... | 49 |
| 3.5.6.2.2.5 Pantallas de Configuración en Modo Manual | 49 |

| | |
|--|-----------|
| 3.5.6.2.2.6 Pantalla de Consumo Mensual teórico..... | 50 |
| 3.5.6.2.2.7 Pantalla de Consumo Acumulado Teórico | 51 |
| 3.5.6.2.2.8 Pantalla de registro de accesos | 51 |
| CAPITULO 4. PRUEBAS – SIMULACIONES | 52 |
| 4.1. Simulación de actualización de fechas en el PLC y visualización en interfaz Hombre-Máquina | 52 |
| 4.2. Simulación de salto a pantalla a mostrar según el tipo de usuario | 53 |
| 4.3. Simulación del funcionamiento en Modo Automático | 53 |
| 4.4. Simulación de cálculo de consumo mensual y consumos acumulados..... | 55 |
| 4.5. Simulación de funcionamiento en Modo Manual..... | 55 |
| 4.6. Simulación de funcionamiento de sensores..... | 57 |
| CAPÍTULO 5. ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DEL PROYECTO | 59 |
| 5.1. Criterios | 59 |
| 5.2. Ahorro Proyectado con Implementación de Sistema Automático de Iluminación..... | 59 |
| 5.2. Resumen de los costos de inversión | 60 |
| 5.3. Flujo de Caja | 60 |
| 5.4. VALOR ACTUAL NETO (VAN)..... | 62 |
| 5.5. PERÍODO DE RETORNO DE INVERSIÓN (PRI)..... | 62 |
| 5.6. TASA INTERNA DE RETORNO (TIR)..... | 63 |
| CONCLUSIONES..... | 64 |
| RECOMENDACIONES | 66 |
| BIBLIOGRAFÍA..... | 67 |

INTRODUCCIÓN

Actualmente, existe preocupación en el mundo por promover el uso eficiente de la energía. Como muestra de la latente preocupación, el 8 de septiembre del 2000 se promulgó la Ley de Promoción del Uso Eficiente de la Energía Ley N° 27345 y posteriormente el 23 de octubre del 2007, a través del Decreto Supremo N° 053-2007-EM, se emite el Reglamento de la Ley, en la cual se formula las disposiciones para promover el Uso Eficiente de la Energía en el país. Esta preocupación se desencadena a raíz de la necesidad de disminuir el impacto ambiental generado por el uso irracional de la energía. Si bien para nosotros esta energía es limpia pues en donde la consumimos no se emite gases tóxicos y es silenciosa; la producción, transporte y distribución de la misma genera importantes impactos ambientales. Por consiguiente, ser ajeno a los efectos negativos que demandan el uso desmedido de energía es hoy en día una actitud irresponsable, los que están cercanos al control y manejo de la misma tienen la obligación de buscar alternativas que contribuyan a su uso racional.

Conciente de esta realidad, el presente trabajo pretende desarrollar una alternativa que conlleva a contribuir en el uso eficiente de la energía eléctrica enfocándose en el diseño de un sistema que permita el control del sistema de iluminación aplicado a una planta industrial con la finalidad de procurar un empleo adecuado de energía eléctrica a fin de contribuir a la conservación del medio ambiente y economizar el empleo de este recurso.

La planta industrial que se tomará como modelo para realizar el diseño, se constituye en una fuente importante de abastecimiento alimenticio, sus objetivos de producción y crecimiento son positivos; es una empresa que promueve a través de su política de medio ambiente el cuidado y protección del mismo; es por ello que el desarrollo de esta mejora es apoyada por la empresa que se preocupa constantemente por desarrollar ideas que contribuyan en su proceso de mejora continua.

El documento de tesis consta de cinco capítulos. En el Capítulo 1, se realiza un análisis energético para determinar el impacto del consumo de electricidad en el sistema de iluminación. En el Capítulo 2, se presentan tres alternativas para el uso eficiente de energía en sistemas de iluminación. En el Capítulo 3, se desarrolla el diseño del sistema de automatización considerando: Hardware y Software. En el Capítulo 4, se muestran los resultados de las pruebas aisladas que se realizaron para la verificación del programa implementado en lenguaje Ladder y finalmente, en el Capítulo 5, se realiza un estudio de factibilidad del proyecto.

CAPITULO 1. CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN UNA PLANTA INDUSTRIAL

En la actualidad, la modernización de los procesos industriales y el crecimiento económico ha tenido como consecuencia la utilización de más equipos lo cual inevitablemente lleva implícito un aumento de consumo energético. Frente a esta realidad, es imprescindible desarrollar tecnologías y sistemas que ahorren energía para lograr un auténtico desarrollo. El sector industrial, es un potencial consumidor de energía, por ello es de vital importancia potenciar los mecanismos necesarios para disminuir la intensidad de consumo energético. En este sentido, para establecer las medidas o tecnologías adecuadas para optimizar el uso de energía se hace necesario realizar un análisis de consumo energético para identificar el impacto que tendría una mejora en una fuente consumidora de energía.

En este capítulo se realiza el análisis energético con datos proporcionados en la planta industrial en estudio considerando: 1) Distribución de consumos energéticos, 2) Distribución de Facturación de Consumo Energético, 3) Distribución de fuentes consumidoras de energía eléctrica e 4) Identificación de usos ineficientes en el manejo de iluminación. Los cálculos y resultados obtenidos, consideran el análisis de informes de consumo energético entre los períodos de enero a agosto del 2009, para mayor detalle revisar el Anexo 1.

1.1 Distribución de Consumo Energético

En la Figura 1.1. se observa la distribución de consumo energético de Gas y Electricidad en la planta industrial. La distribución porcentual concuerda con la actual demanda del gas natural en el país al ser presentado como una fuente de energía de menor impacto económico y ambiental. Actualmente, la mayoría de industrias han acondicionado muchos de sus equipos y sistemas a gas por los beneficios económicos y ambientales que otorgan. Sin embargo, existen también muchos sistemas que no han podido o no pueden ser acondicionados con gas natural, los cuales para esta planta representan aproximadamente el 37% (Ver Figura 1.1). Es en estos casos, que debe enfatizarse desarrollar proyectos para optimizar el uso de este recurso y compensar su impacto económico por su alto costo. Para hallar la distribución porcentual se consideró la equivalencia de 1m^3 de gas natural = 10.33 KW-h [1] (Ver Anexo 2).

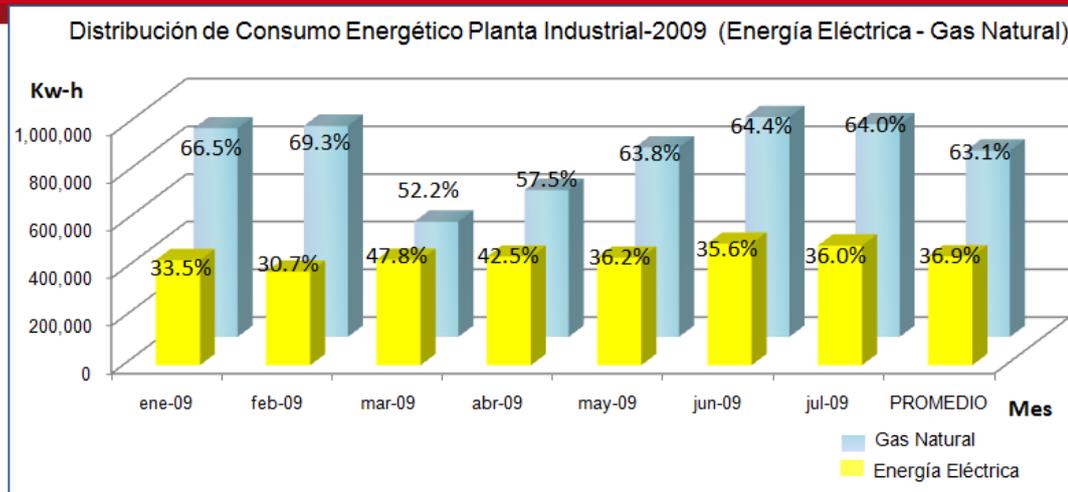


Figura 1.1. Distribución de Consumo Energético en una planta industrial

1.2 Distribución de Facturación de Consumo Energético

Si bien muchas empresas hoy en día derivan sus potenciales consumos de energía al gas natural; debe resaltarse el impacto económico que tiene 1m³ de gas natural frente a 1 Kw-h de energía eléctrica. Tomando como referencia la distribución de consumo energético de la Figura 1.1, el 63% de sistemas consumidores de energía usan gas natural y el 37% usan energía eléctrica, con lo cual la diferencia entre el consumo de gas frente a electricidad es 25%; sin embargo, al comparar el impacto económico que representa este consumo, la diferencia anterior puede llegar a reducirse increíblemente. En la Figura 1.2. se muestra la distribución de facturación de Energía Eléctrica y Gas Natural, la diferencia entre la distribución de facturación de ambas fuentes de energía es de sólo 0.2%, siendo más caro el consumo de energía eléctrica; lo cual fundamenta la importancia de disminuir el consumo de esta energía en los sistemas involucrados por su alto impacto.

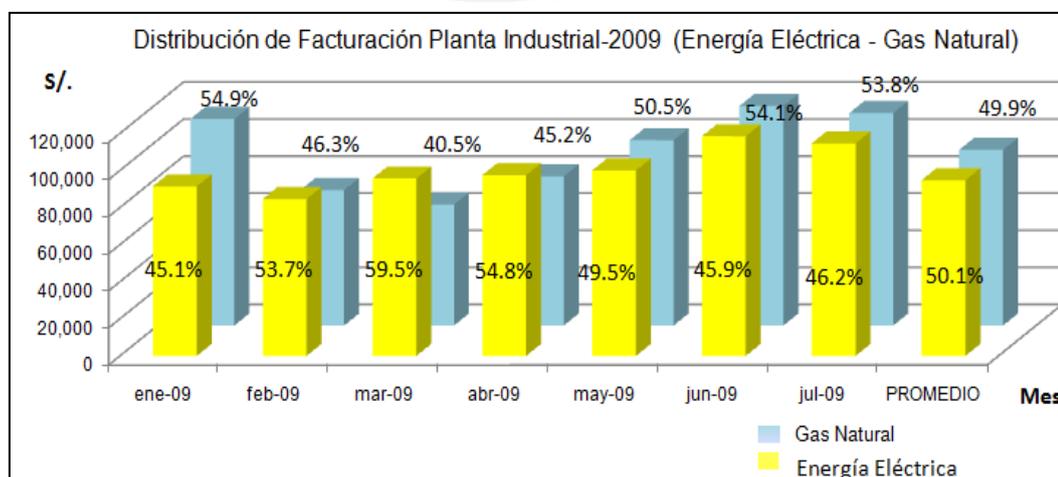


Figura 1.2. Distribución de Facturación de Consumo de Gas Natural y Electricidad

1.3 Distribución de Fuentes Consumidoras de Energía Eléctrica

Al identificar la importancia de optimizar el consumo de energía eléctrica, se pretende identificar a través de la Figura 1.3. la distribución porcentual de las principales fuentes consumidoras de energía eléctrica para la planta en estudio. Como se observa el área que se constituye en principal fuente de consumo es el de las líneas de producción, que representa el 83.15% del consumo total de energía eléctrica. Esta zona está conformada por los sectores que forman parte de las líneas de producción donde se encuentra toda la maquinaria e iluminación instalada.

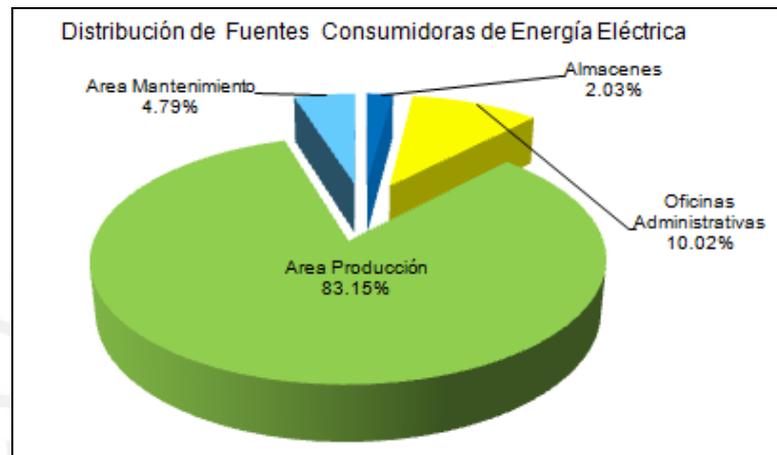


Figura 1.3. Distribución de principales áreas consumidoras de Energía Eléctrica

Para tener un análisis a profundidad de las fuentes consumidoras en las líneas de producción y almacenes, se divide el consumo por sectores, los mismos que han sido clasificados considerando toda la maquinaria de trabajo instalada por sector y se ha separado el sector de iluminación que representa la carga por las luminarias instaladas. En la Figura 1.4. se muestra la distribución de fuentes consumidoras de energía eléctrica con el objetivo de evaluar el impacto que tendría desarrollar una mejora en alguno de los sectores involucrados.

Como se puede observar, la iluminación es una importante fuente de consumo de energía eléctrica en la instalación industrial (17%). Es por ello que cualquier medida de ahorro energético en iluminación tendrá un impacto importante en los costos y en el medio ambiente. Además, debe considerarse que optimizar el consumo de energía eléctrica en este sistema, reduce directamente el consumo de energía activa, mientras que en las máquinas instaladas en las líneas de producción normalmente se buscaría compensar la energía reactiva, lo cual sí se realiza en la planta industrial. Así

mismo, habiéndose instalado equipos nuevos y de alta eficiencia, el impacto de las mejoras que pueden implementarse en otros sectores es limitado.

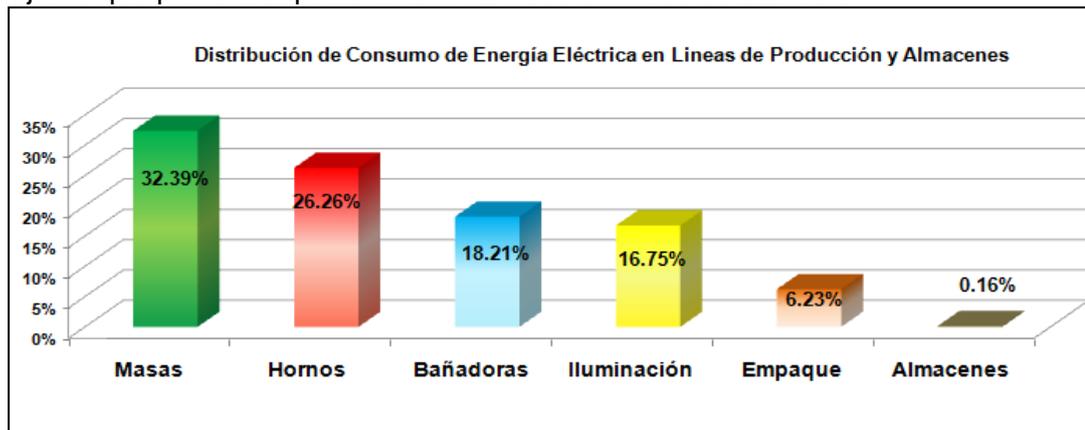


Figura 1.4. Distribución de consumo de energía eléctrica en Líneas de Producción

En función al atractivo porcentaje que representa el consumo de energía en iluminación, el presente tema de tesis desarrolla una propuesta para optimizar el uso de energía en estos sistemas pues en base a la revisión de informes, existen múltiples soluciones viables con un nivel de dificultad bajo o medio; un costo de inversión medio, pero con un ahorro estimado que oscila ente el 20-80% (ver Anexo 3) [3]. Estudios en torno al tema revelan muchas deficiencias en el manejo de la iluminación como las que se mencionan a continuación.

1.4 Deficiencias en el manejo de iluminación

El proceso específico de tener un uso eficiente en el sistema de iluminación tiene en la actualidad diversas formas y métodos para su realización. Esto se debe por un lado a la diversidad de la tecnología actual y a su continuo avance y por otro a la preocupación de organismos como: El Ministerio de Energía y Minas, CENERGIA, CONCYTEC, entre otros; que buscan promover buenos hábitos de consumo energético en la sociedad. Sin embargo, a pesar de los actuales esfuerzos existen hoy en día en la industria muchas deficiencias en el manejo de los sistemas de iluminación industrial como es el caso de la planta en estudio [2]:

- La formación interna en temas de hábitos y usos eficientes de la energía es prácticamente inexistente.
- La escasa formación en materia de eficiencia energética, se materializa en un bajo nivel de compromiso, si no existe formación no puede haber una puesta en práctica de los conceptos y hábitos energéticamente eficientes.
- Existen oportunidades de mejora para lograr que todos los trabajadores conozcan las políticas de la empresa y su compromiso con el uso eficiente de la energía.

- No se cuenta con sistemas de regulación de la iluminación como: detectores de presencia, interruptores temporizados, dimmers (variador de intensidad de luz), sensores de luz ambiental (sensores fotoeléctricos), etc.

En consecuencia se desencadenan las siguientes ineficiencias en el manejo de la iluminación industrial:

- a) Encender todas las lámparas para efectuar tareas de mantenimiento o limpieza en horarios donde no hay producción.
- b) Mantener encendidas las lámparas durante horas de descanso del personal o períodos no productivos.
- c) Mantener encendidas las lámparas en las zonas de almacenes sin personal en el interior.
- d) Encender todas las lámparas de varias áreas con un solo interruptor.
- e) Sobre iluminar innecesariamente algunas áreas.

Adicionalmente, en el área de producción, existen 14 tableros eléctricos de iluminación distribuidos en el primer y segundo piso. En este sentido, se considera que tener esta distribución limita la posibilidad que el personal apague un circuito de iluminación específico cuando no sea necesario pues esto implicaría que el trabajador se dirija hacia el tablero eléctrico, lo abra y elija desactivar el interruptor termo magnético asociado al circuito que desea apagar lo cual termina convirtiéndose en una actividad agotadora y poco práctica para el usuario que prefiere generalmente optar por no ejecutarla.

Por ello, con la finalidad de demostrar que no existe un consumo óptimo en el sistema de iluminación, se realizó la prueba de controlar manualmente el encendido y apagado de las luces a cargo de los electricistas del área de mantenimiento durante dos semanas. El consumo se registró a través de medidores instalados en el circuito de iluminación ubicado en la sub-estación y se comparó con el consumo de semanas anteriores; el resultado final se muestra en la Figura 1.5.

Como puede observarse, existe una notable reducción del consumo de energía eléctrica, siendo finalmente el consumo en las semanas de prueba 24% menos al consumo habitual. Sin embargo, sería difícil pretender mantener permanentemente este personal realizando esta labor todos los días del año, especialmente en domingos, feriados, fechas de parada de planta o cierre de planta.

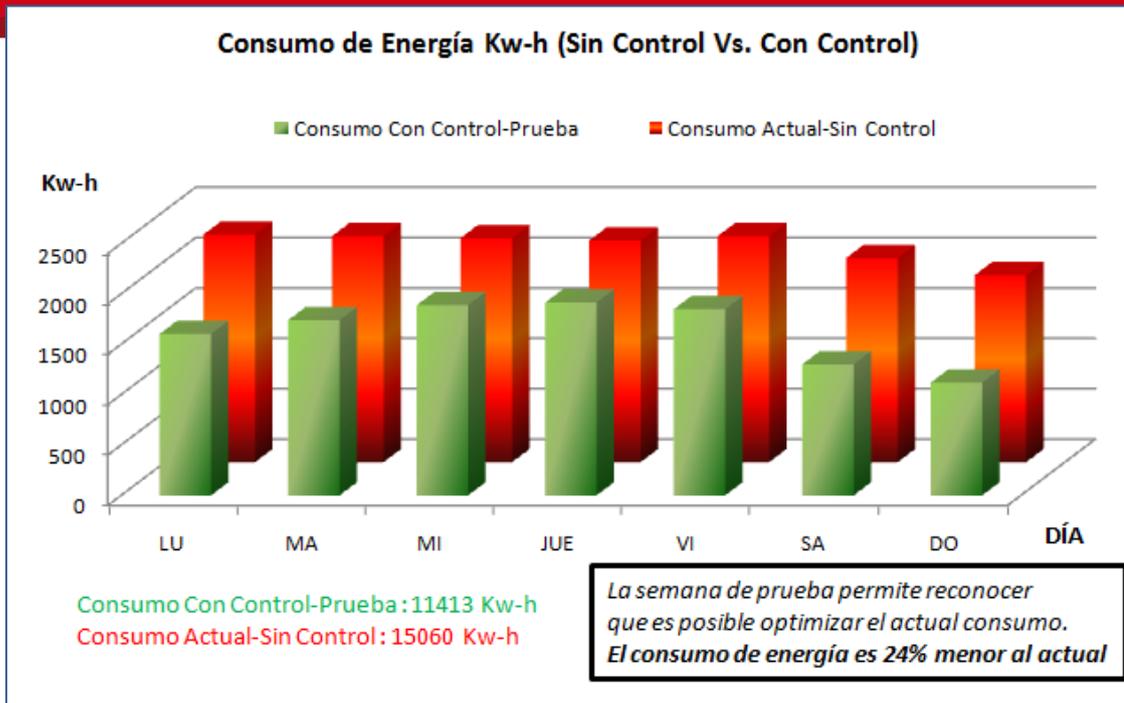


Figura 1.5. Consumo de energía eléctrica en áreas de producción (Consumo Normal Vs. Consumo con control manual)

Por ello, en función a las deficiencias mencionadas, se debe evaluar una propuesta para optimizar el uso de energía en iluminación con una solución práctica para que permita que esta tarea sea lo más práctica y simple posible.

En el siguiente capítulo se presentan algunas alternativas que conllevan a una optimización del consumo de energía en iluminación.

CAPÍTULO 2. ALTERNATIVAS PARA LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN ILUMINACIÓN INDUSTRIAL

2.1. Uso eficiente de la iluminación

Ante las deficiencias encontradas en el manejo de la iluminación en el sector industrial, entidades como el Ministerio de Energía y Minas presentan alternativas de buenas prácticas entre ellas se pueden mencionar: utilizar la luz natural, controlar las horas de operación (en particular en horas punta), apagar las lámparas innecesarias, no sobre iluminar áreas, considerar colores claros de mobiliario en las oficinas, separar los circuitos de iluminación para que su control no dependa de un solo interruptor y se ilumine solo sectores necesarios. En forma adicional a las buenas prácticas mencionadas; el tener un uso eficiente de la iluminación hace necesaria la implementación de mejoras con inversión como por ejemplo: reemplazar lámparas por unidades más eficientes en áreas de producción y oficinas administrativas, implementación de sistemas de control, reemplazo de balastos electromagnéticos por electrónicos, utilizar sensores de presencia, en particular en áreas de almacenes, utilizar temporizadores, “Dimmers” para reducir la intensidad de luz en períodos que se necesite poca luz como períodos de limpieza [2].

A continuación se profundizará en la descripción de algunas soluciones para el uso eficiente de energía en la iluminación industrial como: uso de lámparas eficientes, uso de balastos electrónicos e implementación de sistemas de control.

2.1.1. Lámparas eficientes

En el sector industrial las luminarias industriales mas usadas son: luminaria halógena, de campana en aluminio pintado en blanco o campana en acrílico primático transparente y los fluorescentes que son empleados básicamente por su eficiencia lumínica y ahorro de energía [7,8]. Sin embargo, las exigencias de la sociedad actual muestran que las empresas industriales presentan ya preocupación en emplear luminarias que les permitan tener un ahorro económico con la finalidad de aumentar su productividad y contribuir al cuidado del medio ambiente. (Ver Figura 2.1)

Es por ello que la tecnología hoy en día propone el uso de LEDs. DCM Systemes, empresa que apuesta por esta tecnología avanzada presenta en su portal de navegación las siguientes ventajas de usar LEDS (Ver Figura 2.2.) y muestra cuadros comparativos en función de la vida media y pérdida de luminosidad (Ver Figura 2.2.)

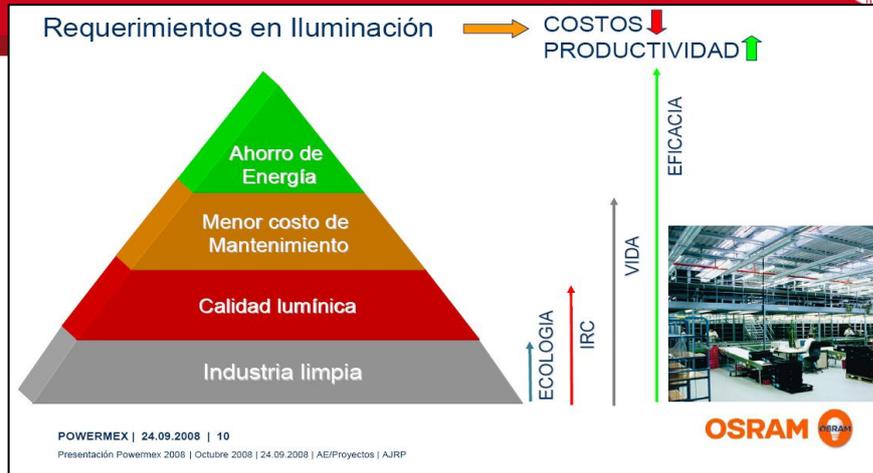


Figura 2.1. Requerimientos en iluminación para empresas industriales[16]

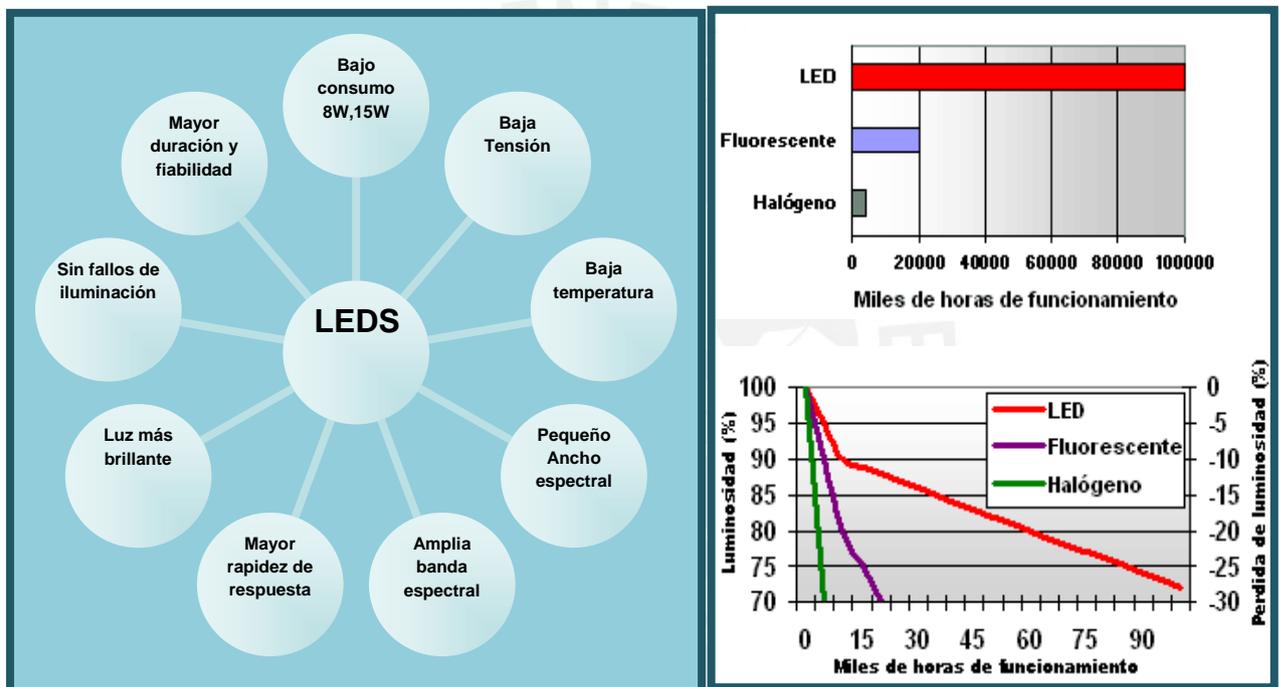


Figura 2.2. Ventajas de emplear la tecnología de los LEDS [16]

Sin embargo, el principal inconveniente para optar reemplazar los fluorescentes comunes por los fluorescentes con leds es su alto costo por su reciente incorporación en el mercado. Por ejemplo, el precio de un fluorescente de 15 Watts es aproximadamente 171 nuevos soles (60 dólares americanos, tipo de cambio: 2.85, agosto 2010) frente a un fluorescente común de 36 Watts como el que se usa en la planta en estudio que cuesta 4 nuevos soles (datos del almacén de repuestos de la planta). En la tabla 2.1. se muestra un análisis con los beneficios de optar usar fluorescentes con leds y el período de retorno de inversión en el caso de reemplazar las 1147 luminarias instaladas en la planta. Como puede observarse el cambio por fluorescentes con leds representaría reducir el consumo de energía en iluminación en 66% el único obstáculo sería el tiempo de retorno de inversión (PRI) que resulta ser de 7 años. En

consecuencia, esta alternativa de alto impacto debe ser evaluada con mucho cuidado, como alternativa podría optarse por cambiar las luminarias por sectores u optar por otras alternativas con menor PRI y alto impacto.

Tabla 2.1. Análisis de costo beneficio de reemplazar fluorescentes con leds

| GASTOS ANUALES CON EQUIPOS DE ILUMINACIÓN ACTUALES | | | |
|--|-----------------|------------------------|---------------------|
| Descripción | Cantidad | Precio Unitario | Precio Total |
| Gastos en Repuestos Anual | | | |
| Fluorescentes (36 Watts) | 330.00 | 4 | 1,320.00 |
| Arrancadores | 350.00 | 0.7 | 245.00 |
| Balastos (8 Watts) | 45.00 | 7.5 | 337.50 |
| Gastos por Mano de Obra Anual | | | |
| 160 maniobras, 2 personas, 2 horas, S/.6.25 x Hora | | | 4,000.00 |
| Costo Por Consumo Anual | | | |
| 55850.21 KWh = S/.7,260.527 Mensual. Dato C18+ C19 Sub-estación | | | 87,126.33 |
| C18, C19 Son los circuitos de iluminación del área de producción | | | |
| Total Gasto Anual | | | 93,028.83 |
| GASTOS ANUALES CON EQUIPOS DE ILUMINACIÓN CON LEDS | | | |
| Descripción | Cantidad | Precio Unitario | Precio Total |
| Gastos en Repuestos Anual | | | |
| Fluorescentes | 48.00 | 171 | 8,208.00 |
| Gastos por Mano de Obra Anual | | | |
| 23 maniobras, 2 personas, 1 hora, S/. 6.25 x Hora | | | 287.50 |
| Costo Por Consumo Anual | | | |
| 15w por fluorescente Vs. Consumo actual de 44w por fluorescente. | | | 29,622.95 |
| El consumo representa el 34% del consumo actual = 0.34x 55850.21KW-H | | | |
| Total Gasto Anual | | | 38,118.45 |
| Total Ahorro Anual | | | 54,910.38 |
| GASTOS DE INVERSIÓN POR CAMBIO A FLUORESCENTES CON LEDS | | | |
| Descripción | Cantidad | Precio Unitario | Precio Total |
| Inversión en Repuestos | | | |
| Equipos Fluorescentes con leds 1157 Luminarias | 2294 | 171 | 392,274.00 |
| Tiempo de Retorno Anual | | | 7.14 |

2.1.2. Balastos electrónicos

Las lámparas incandescentes y las halógenas directas a red son las únicas que no necesitan de un equipo auxiliar como un transformador, reactancia o balastro electrónico. Por otro lado, las lámparas de descarga se utilizan en combinación con diferentes tipos de balastos. Estos pueden ser electrónicos o electromagnéticos. Estos balastos deben combinarse con cebadores y habitualmente con condensadores de corrección del factor de potencia. El reemplazo por balastos electrónicos ofrece numerosas e importantes ventajas en comparación con los balastos electromagnéticos tradicionales, por ejemplo:

- Las pérdidas de potencia en los balastos tradicionales oscilan entre un 6%-7% hasta un 20%, mientras que en los balastos electrónicos puros son de 0 vatios.

- ✚ La reducción del consumo de energía es aproximadamente 25%. En la Tabla 2.2. se muestra como varía el consumo energético en un tubo fluorescente de 58W al sustituir el balastro convencional por un balastro electrónico.
- ✚ Mejoran la eficiencia de la lámpara y del sistema.
- ✚ Mejorar el confort y reducción de la fatiga visual al evitar el efecto estroboscópico.
- ✚ Optimizan el factor de potencia.
- ✚ Proporcionan un arranque instantáneo
- ✚ Incrementan la vida de la lámpara.
- ✚ Permiten una buena regulación del flujo luminoso de la lámpara.

Tabla 2.2. Comparación entre balastro convencional y balastro electrónico [3]

| POTENCIA ABSORBIDA | | POTENCIA ABSORBIDA | |
|---|----|------------------------|-----------------|
| Potencia por luminaria | 72 | Potencia por luminaria | 72 |
| Balastro Convencional | 16 | Balastro electrónico | 3 |
| TOTAL | 88 | TOTAL | 75 |
| DISMINUCION POR CONSUMO ENERGÉTICO | | | 14.70% |
| COSTO BALASTRO ELECTRÓNICO S/. | | | 26 |
| COSTO BALASTRO ELECTROMAGNÉTICO S/. | | | 5 |
| CÁLCULO DE INVERSION | | CANTIDAD | P. UNITARIO S/. |
| Balastos electrónicos | | 1157 | 26 |
| Costo por consumo anual | | | 87,126.33 |
| Ahorro por consumo | | | 12,807.57 |
| Tiempo de Retorno Anual | | | 2.35 |

Sin embargo, el uso de balastos electrónicos tiene como principal inconveniente el costo, un balastro electromagnético cuesta 5 soles aproximadamente; mientras que uno electrónico cuesta 26 soles. Esto hace que se recomiende la sustitución en aquellas luminarias que tengan un elevado número de horas de funcionamiento. Pero en el caso de una instalación nueva, es recomendable que a la hora de diseñar el alumbrado, se considere la posibilidad de colocar luminarias con balastro electrónico, ya que en este caso el costo se amortizaría con el ahorro que produce. Analizando esta alternativa, en la Tabla 2.2 se observa que la disminución por consumo energético es de 14.7% sobre el consumo de energía actual en iluminación y el PRI es de 2 años aproximadamente, un tiempo mucho menor al de optar con cambiar los equipos fluorescentes existentes por fluorescentes con leds.

2.1.3. Sistemas de Control de Iluminación

En la industria, los sistemas de control automático son fundamentales para el manejo de los procesos de producción. Está comprobado que el aumento de la productividad está muy relacionado a la automatización de los procesos en la medida que se haga uso eficiente de los equipos y sistemas asociados. Actualmente, los sistemas modernos de control industrial están compuestos por: Sensores, dispositivos de

entrada, el controlador, redes de comunicación industrial, actuadores, dispositivos de indicación o interfaces HMI [7].

2.3.1.1 .Sensores

En el campo de la iluminación los tipos de sensores más empleados para formar parte de estos sistemas de control son: los sensores de presencia y los sensores fotoeléctricos; es posible implementar un sistema inteligente de iluminación con uno de los tipos de sensores mencionados o con una aplicación conjunta de ambos.

2.1.3.1.1. Sensores de Presencia

Los sensores de presencia, han sido desarrollados en tres diferentes tecnologías las cuales son: tecnología infrarroja (PIR), tecnología ultrasónica y tecnología Dual. Se presenta a continuación características más importantes en cada tecnología, tomando como referencia información de la empresa BTICINO que ofrece este tipo de sensores [8]. (Ver Tabla 2.3)

Tabla 2.3. Tecnologías disponibles en sensores de presencia [8].

| TECNOLOGIA | CARACTERÍSTICAS |
|------------------------|--|
| Tecnología PIR | · Denominado infrarrojo pasivo |
| | · Reaccionan solo ante determinadas fuentes de energía como el cuerpo humano. |
| | · Captan la presencia detectando la diferencia entre el calor emitido por el cuerpo humano y el espacio alrededor. |
| | · Cuando se da un cambio de temperatura en alguno de estos radios o zonas, se detecta la presencia y se acciona la carga. |
| Tecnología Ultrasónica | · Son detectores de movimiento volumétricos que utilizan el principio Doppler. |
| | · Los sensores emiten ondas de sonido ultrasónico hacia el área a controlar, las cuales rebotan en los objetos presentes y regresan al receptor del detector |
| | · El movimiento de una persona en el área provoca que las ondas de sonido regresen con una frecuencia diferente a la cual fue emitida, lo cual es interpretado como detección de presencia |
| Tecnología Dual | · Combina las tecnologías PIR y Ultrasónica. |
| | · Proporcionan el control de iluminación en áreas donde sensores de una sola tecnología pudieran presentar deficiencias en la detección. |
| | · Los sensores de Tecnología Dual actúan prendiendo las luces cuando tanto PIR como las tecnologías ultrasónicas detectan ocupación |
| | · Una vez las luces están prendidas, solo se necesita detección de una sola tecnología para mantenerlas prendidas |

2.1.3.1.2 Sensores Fotoeléctricos

Un sensor fotoeléctrico es un dispositivo electrónico que responde al cambio en la intensidad de la luz, se utiliza en iluminación para detectar el nivel de luz y producir una señal de salida representativa respecto a la cantidad de luz detectada. Se

recomienda emplear este tipo de sensores en aquellos lugares que cuenten con flujo de luz natural a fin de iluminar un área solo si el nivel de luz es insuficiente.

2.1.3.1.3 Dispositivos de entrada

Los dispositivos de entrada permiten establecer el diálogo hombre-máquina para que el operador pueda gobernar el funcionamiento correcto de las máquinas instaladas, verificando condiciones de arranque, alterando el proceso, realizando paradas de emergencia, verificando el estado del proceso, entre otros.

Un ejemplo de estos dispositivos son los Paneles de Operador; estos se encargan de intercambiar información entre los automatismos y los operadores permitiendo la modificación de los valores de las variables en forma amigable. Entre las marcas que ofrecen estos dispositivos se pueden mencionar: SIEMENS, Allen Bradley, Unitronix. Los paneles de operador generalmente pueden formar parte de redes industriales de comunicación como: Data Highways, DeviceNet, ControlNet, FieldBus, Profibus e incluso a través de la red local de comunicación en planta vía Ethernet. Hoy en día existen en el mercado en las siguientes presentaciones: paneles alfanuméricos, paneles gráficos, paneles táctiles e incluso se encuentran dispositivos que tienen la función HMI+PLC integrada.

2.1.3.1.4 Controlador

Un componente importante en un sistema de control es el controlador. En este contexto, en la actualidad se puede utilizar para el control de sistemas industriales: una PC, un PLC o un PAC. En la última década, expertos en la industria y editores predijeron que el control basado en la PC finalizaría el régimen de los controladores de lógica programables (PLC) en el control industrial. Se pensaba que la PC se convertiría en la plataforma fundamental de la Automatización Industrial. Sin embargo, al día de hoy los PLC continúan dominando la mayoría de las fábricas para aplicaciones de control de procesos y máquinas. Aunque muchos ingenieros han evaluado el uso de la PC para funciones como control, conectividad con base de datos, aplicaciones basadas en web y comunicación con dispositivos externos, la PC no ha podido competir con el PLC para aplicaciones basadas en control; sin embargo, hoy en día existe una tercera opción que son productos que ofrecen una combinación de la PC y del PLC. El grupo de analistas de la industria ARC utiliza el término "controladores de automatización programables" (PAC) para estos controladores híbridos [10]. Los PAC combinan las mejores características de la PC, incluyendo el procesador, la RAM, y software potente, con la confiabilidad, dureza, y naturaleza distribuida del PLC. (Figura 2.3.). Los PAC combinan el empaque y dureza

del PLC con la flexibilidad y funcionalidad de software de la PC. Estas nuevas plataformas son ideales para control sofisticado y registro de datos en ambientes rudos. El soporte técnico de National Instruments, muestra en una publicación el siguiente cuadro comparativo en relación a los controladores mencionados [10].

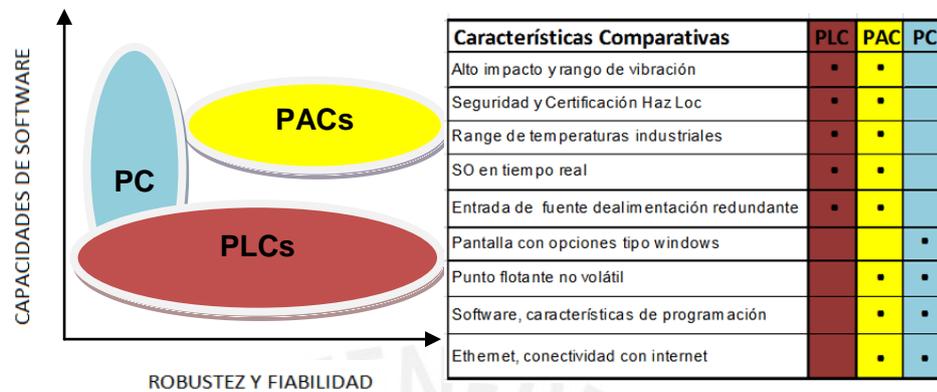


Figura 2.3. Comparación entre una PC, un PLC y un PAC [10]

2.1.3.1.5 Redes de Comunicación Industrial

Las comunicaciones industriales son aquellas que permiten el flujo de información del controlador a los diferentes dispositivos a lo largo del proceso de producción: detectores, actuadores, otros controladores. El objetivo primario del sistema de comunicación es el de proporcionar el intercambio de información entre dispositivos remotos. Este intercambio de información puede realizarse en base a distintas tecnologías. Los buses de comunicación industrial usados actualmente se eligen de acuerdo a los requerimientos de la automatización. A continuación se muestra la pirámide de automatización donde se mencionan cuatro niveles asociados a cuatro tipos de buses diferentes. [9] (Figura 2.4.) En función a los niveles de automatización, en la Figura 2.5. se muestra los buses usados en cada nivel tomando como referencia una marca europea (Siemens) y una marca americana (Rockell Automation). Cada red de comunicación establece estándares y normas como distancias máximas de trabajo, número de puntos a conectar; etc.

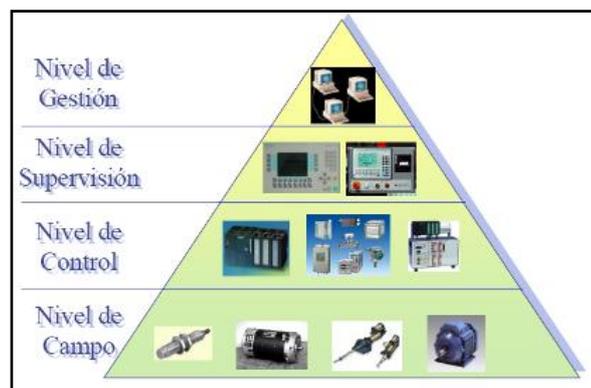


Figura 2.4. Niveles de Automatización [13]

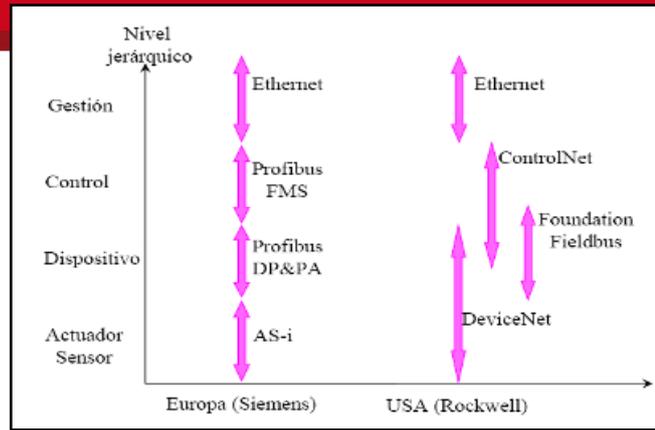


Figura 2.5. Redes de Comunicación en distintos niveles de automatización [13].

Resumiendo, los ahorros que podrían obtenerse en el consumo de energía eléctrica por iluminación para cada alternativa desarrollada serían:

Tabla 2.4. Ahorros de alternativas mencionadas para ahorro de energía

| CONSUMO POR LUMINARIA | | | | | | |
|--------------------------------------|-------|---------|--|----------|-------|------------------|
| ALTERNATIVAS | ANTES | DESPUES | OBSERVACIÓN | AHORRO % | COSTO | PRI (AÑOS) APROX |
| Cambios por fluorescentes con leds | 88W | 30W | - | 66% | ALTO | 7 |
| Cambios de balastos electrónicos | 88W | 72W | - | 14.70% | MEDIO | 2 |
| Implementación de sistema de control | - | - | Basado en semana de prueba de control manual | 24% | MEDIO | 1 A 2 |

Por ejemplo, optar por reemplazar los fluorescentes por leds daría resultados inmediatos de ahorro (66%); sin embargo, el costo es la principal limitante. En este sentido, se propone que luego de la implementación de un sistema de control se opte por cambiar los equipos de iluminación lo cual es posible gracias a la escalabilidad del sistema de automatización propuesto con lo cual se obtendría un ahorro total de 80 - 90% aproximadamente sobre el consumo actual. Sin embargo, si se opta por cambiar los balastos ya quedaría descartada la opción de usar leds pues estos ya no requieren de balastos o arrancadores y el ahorro total sería 48% aproximadamente. En síntesis, la implementación de sistemas de control se presenta como una atractiva alternativa para lograr la economía energética ya que un buen sistema de control de alumbrado asegura una iluminación de calidad mientras es necesario y durante el tiempo que sea preciso. Con un sistema de control apropiado pueden obtenerse sustanciales mejoras en la eficiencia energética de la iluminación industrial (24%). Las otras dos opciones: uso de lámparas eficientes o uso de balastos electrónicos son alternativas que pueden contribuir a optimizar aun más el consumo en una etapa posterior al desarrollo de esta propuesta.

CAPÍTULO 3. DISEÑO DE SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN: HARDWARE Y SOFTWARE

En el primer capítulo se realizó un análisis de consumo energético con la finalidad de evaluar el impacto del desarrollo de una mejora en uno de los sistemas involucrados. Al encontrar que el sistema de iluminación representa un 17% del consumo de energía eléctrica dentro de la planta se eligió en el Capítulo 2 diseñar un sistema de automatización que permita controlar el sistema de iluminación. En este sentido, el presente capítulo presentará el detalle de las consideraciones tomadas en el diseño de la propuesta de automatización.

3.1. Descripción general de zonas a controlar

El diseño de automatización propone la integración de: Controladores Lógicos Programables (PLC), Interfaz Hombre-Máquina (HMI), Sensores de Presencia, Sensores fotoeléctricos y Actuadores (Contactores).

La propuesta tiene como alcance diseñar un sistema de automatización para el sistema de iluminación en las zonas de: Producción, Almacenes y Aduanas. A continuación se mencionarán las características de dichas áreas con la finalidad de definir el tipo de control que gobernará el encendido y apagado de luces.

- a) **Área de Líneas de Producción:** La planta industrial cuenta con siete líneas de producción, cuatro de elaboración de galletas y tres de chocolates. Cada línea de producción cuenta con los siguientes sectores principalmente.

Cuarto de Masa: Sector donde se realiza la preparación de masas para todos los productos, por ende es un sector común para toda la planta. El sector ocupa dos niveles, primer y segundo piso. En el segundo piso se encuentran los alimentadores para los suministros involucrados en la preparación y en el primer nivel se encuentran las mezcladoras donde una vez dosificadas las cantidades necesarias de suministros se elabora la masa.

Laminado y Cortadores: Sector donde se lamina o “calibra” el ancho de la masa en función a los requerimientos del producto a elaborar. Aquí cada línea de producción de galletas tiene un área de laminado, en consecuencia se cuenta con 4 de ellos. Los cortadores ubicados a continuación de cada sector de laminado tienen moldes donde se corta la masa según la forma de producto a elaborar.

Horno y enfriamiento: Sector donde se hornean las galletas. Cada línea de producción cuenta también con un horno. Cada horno es de aproximadamente 120 metros de largo. El sector de enfriamiento está ubicado a la salida de cada horno y son básicamente fajas transportadoras que trasladan el producto a cada zona de empaque. En el caso de las líneas de chocolates, se cuenta con dos hornos adicionales para la elaboración de waffers, estos hornos tienen aproximadamente 20 metros de largo.

Bañadora: Sector solo para las líneas de chocolates. Aquí se bañan con chocolate y/o grageas las galletas que por su presentación así lo requieran. Se cuenta con dos bañadoras de 110 y 70 metros de largo respectivamente. Esta última forma parte de una línea de producción pues está a continuación de un horno, la otra es una línea completamente independiente.

Empaque: Sector donde se procede a empacar el producto terminado. Se cuenta con 4 sectores de empaque para las líneas de galletas y 3 en la de chocolates.

En cada sector se cuenta con maquinistas que inician, monitorean, finalizan cada tarea involucrada en el proceso de producción. En la tabla 3.1. se muestra la descripción de cada sector considerando: número de circuitos, luminarias, maquinistas; área y tipo de ocupación para cada sector con la finalidad de definir el tipo de control más adecuado.

Luego de observar la tabla 3.1. se concluye que, dado que las áreas son grandes y tienen un tipo de ocupación predecible, pues los maquinistas permanecerán en dichas zonas siempre que la programación de producción lo requiera. En consecuencia, se considera gobernar el encendido / apagado de los circuitos de iluminación por los horarios de producción semanal para las 7 líneas. En los sectores mencionados no se considera oportuno gobernar la iluminación mediante sensores de presencia por tres motivos:

- 1.- El tránsito tiene mayor probabilidad de ser continuo siempre que esté programada la producción según la planificación semanal.
- 2.- Las zonas son de área muy amplia para los rangos de trabajo de un sensor.
- 3.- Las zonas cuentan con varias máquinas y columnas que limitan los rangos de trabajo para un sensor de presencia.

Tabla 3.1. Descripción de sectores a controlar en Líneas de Galletería

| SECTOR | N° Circuitos | N°Luminarias 2x 36W | N°Luminarias 440W | N° Maquinistas | Tipo de Ocupación | Área (m2) | Tablero |
|--------------------------|--------------|---------------------|-------------------|----------------|-------------------|-----------|---------|
| Cuarto de Masas 1er Piso | 4 | 91 | - | 8 | Predecible | 400 | TA1/TA2 |
| Cuarto de Masas 2do Piso | 1 | - | 9 | 10 | Predecible | 400 | TA3 |
| Laminado | 2 | - | 16 | 8 | Predecible | 450 | TA3 |
| Horno 1 | 1 | 35 | - | 2 | Impredecible | 150 | TA3 |
| Horno 2 | 1 | 22 | - | 2 | Impredecible | 150 | TA3 |
| Horno 3 | 1 | 23 | - | 2 | Impredecible | 150 | TA3 |
| Horno 4 | 1 | 11 | - | 2 | Impredecible | 150 | TA3 |
| Empaque L1 | 7 | 77 | - | 12 | Predecible | 800 | TA4 |
| Empaque L2 | 4 | 102 | - | 6 | Predecible | 800 | TA5 |
| Empaque L3 | 5 | 136 | - | 6 | Predecible | 800 | TA5 |
| Empaque L4 | 5 | 104 | - | 10 | Predecible | 800 | TA6 |
| Horno W1B2 | 1 | 30 | 5 | 4 | Predecible | 500 | TA7 |
| Bañadora 2-Empaque | 4 | 40 | - | 6 | Predecible | 200 | TA7 |
| Horno W2 | 3 | 48 | - | 5 | Predecible | 700 | TA8 |
| Empaque W2 | 5 | 64 | - | 6 | Predecible | 300 | TA8 |
| Bañadora 3 | 7 | 78 | 4 | 10 | Predecible | 1000 | TA9 |
| Lavado de Bandejas | 9 | 76 | - | 2 | Predecible | 300 | TA10 |
| Totales | 61 | 937 | 34 | 101 | | | |

- b) **Área de Almacenes:** Existen dos almacenes de producto terminado (PT) donde se encuentran los productos ya empaquetados luego que salen del sector de empaque. Además existe un almacén de materias primas, aquí se almacenan y reciben los insumos para la planta. El sistema a diseñar contempla solo los almacenes de producto terminado, para el almacén de materias primas se presentó la idea de optimizar el consumo de energía aprovechando la luz natural proyecto que los usuarios encontraron aplicable y fue implementado este año.

Al identificar que la ocupación en ambos almacenes de PT es impredecible, se considera gobernar el encendido/apagado automático mediante sensores de presencia y dado que el área cuenta con flujo de luz natural a través de ventanas, se trabajará con sensores fotoeléctricos para permitir que el encendido de luminarias se de en el momento en que se detecte presencia y la luz sea insuficiente. Se presenta la descripción de estas áreas en la siguiente Tabla. 3.2.

Tabla 3.2. Descripción de almacenes de producto terminado

| SECTOR | N° Ctos | N°Luminarias | Tipo de Ocupación | Área (m2) | Tablero |
|-------------------------------------|---------|--------------|-------------------|-----------|---------|
| Almacén Producto Terminado 1er Piso | 4 | 84 | Impredecible | 750 | TA11 |
| Almacén Producto Terminado 2do Piso | 5 | 89 | Impredecible | 1000 | TA13 |
| Totales | 9 | 173 | | | |

- c) **Área de Aduanas:** Es una zona de uso común para todo aquel que ingrese a las líneas de producción. Aquí el personal debe lavarse las manos como parte del requerimiento de sanitización. Se cuenta con dos aduanas cuya ocupación es impredecible y con un nivel de ocupación medio. Esta zona es ocupada cada vez que un personal desee ingresar a la planta o retirarse de ella. Se disponen de dos aduanas ubicadas en el primer y segundo piso. Se considera automatizar la iluminación del área a través de sensores de presencia y dado que el área no cuenta con flujo de luz natural; no se empleará un sensor fotoeléctrico. Se presenta la descripción de estas áreas en la siguiente Tabla. 3.3.

Tabla 3.3. Descripción de aduanas

| SECTOR | N° Ctos | N°Luminarias | Tipo de Ocupación | Área (m2) | Tablero |
|-----------------|---------|--------------|-------------------|-----------|---------|
| Aduana 1er Piso | 2 | 32 | Impredecible | 50 | TA12 |
| Aduana 2do Piso | 2 | 32 | Impredecible | 50 | TA14 |
| Totales | 4 | 64 | | | |

3.2. Características del diseño

3.2.1. Tecnologías a considerar en el Sistema de Automatización

En la siguiente tabla, resume las tecnologías de control propuestas para este diseño basado en el análisis presentado en las páginas previas:

Tabla 3.4. Resumen de las tecnologías de control a considerar por sector en la planta de estudio

| | USO DE ESPACIO | | FLUJO DE LUZ NATURAL | | AREA | | | FLUJO DE PERSONAS | | | TECNOLOGÍA DE CONTROL PROPUESTA |
|---------------------------------|----------------|--------------|----------------------|----|---------|---------|--------|-------------------|-------|------|--|
| | Predecible | Impredecible | Si | No | Pequeña | Mediana | Grande | Bajo | Medio | Alto | |
| Línea de Galletas | | | | | | | | | | | |
| Cuarto de masas | X | | X | | | | X | | | X | Programa PLC /Tablero de Control |
| Laminado y Cortadoras | X | | | X | | | X | | | X | Programa PLC /Tablero de Control |
| Hornos | X | | | X | | | X | | X | | Programa PLC /Tablero de Control |
| Enfriamiento | X | | | X | | | X | | X | | Programa PLC /Tablero de Control |
| Empaque | X | | | X | | | X | | | X | Programa PLC /Tablero de Control |
| Línea de Chocolates | | | | | | | | | | | |
| Hornos | X | | | X | | | X | | | X | Programa PLC /Tablero de Control |
| Enfriamiento | X | | | X | | | X | | | X | Programa PLC /Tablero de Control |
| Bañadoras de Chocolate | X | | | X | | | X | | | X | Programa PLC /Tablero de Control |
| Empaque | X | | | X | | | X | | | X | Programa PLC /Tablero de Control |
| Aduanas | | X | | X | X | | | X | | | Sensores de Presencia |
| Almacenes de Producto Terminado | | X | X | | | | X | X | | | Sensores de Presencia + Sensor Fotoeléctrico |

LEYENDA

| AREA | |
|---------|---------------------|
| Pequeña | <= 50m ² |
| Mediana | >50 y <=200 |
| Grande | >200 |

| FLUJO DE PERSONAS | |
|-------------------|-------------------|
| Bajo | 2 personas |
| Medio | >2 y <=4 personas |
| Alto | >4 |

3.2.2. Especificaciones complementarias en el diseño

El Sistema de Automatización propone presentar al usuario las siguientes opciones complementarias:

✚ Sistema de Base de Datos:

- Opción de guardar mensualmente los consumos teóricos del sistema a controlar por líneas de producción.
- Opción de observar los consumos teóricos del mes en los sectores controlados a través de displays numéricos y gráficos de barras como información visual.

✚ Sistema de seguridad para el control de las zonas a controlar:

- Opción de Password para configurar y/o controlar el sistema de automatización. Se considerarán privilegios y restricciones para el control total o parcial del sistema según el tipo de usuario.
- Generación de alarmas para registrar los accesos al sistema.

✚ Red de Comunicación entre Controladores y Panel de Operador

3.2.3. Variables internas en el diseño

Resultado de este planteamiento, se realiza un análisis preliminar al desarrollo del diseño con la finalidad de identificar las variables internas que se ven involucradas en el tema de estudio.

Las variables internas permiten identificar problemas que pueden presentarse durante el desarrollo de la idea propuesta producto de un análisis preliminar al diseño, para los cuales pueden encontrarse muchas veces soluciones viables o en caso de no poder evitarse sirven para ser identificados como restricciones o limitaciones del diseño.

En la Figura 3.1. se muestra el Diagrama de Flujo de las variables Internas en el Diseño del Sistema de Automatización de Iluminación, se considera parte de hardware y software. Así mismo en la Figura 3.2. se muestra el Diagrama de Flujo de las variables internas para el proceso de operación y control en modo manual y automático. Posteriormente se hace una descripción de cada variable identificada.

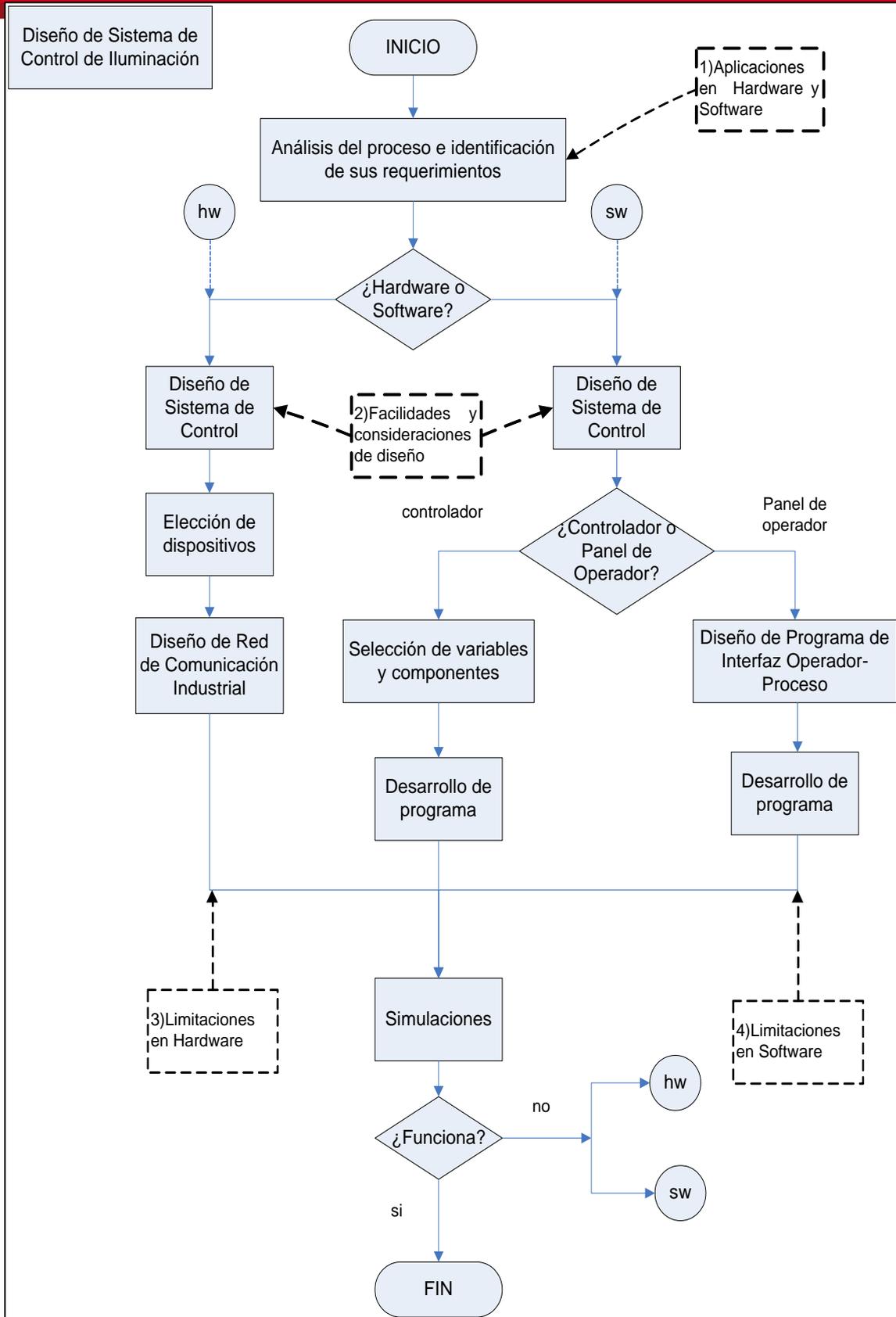


Figura 3.1. Diagrama de Flujo de Variables Internas en el Diseño del Sistema de Automatización de Iluminación

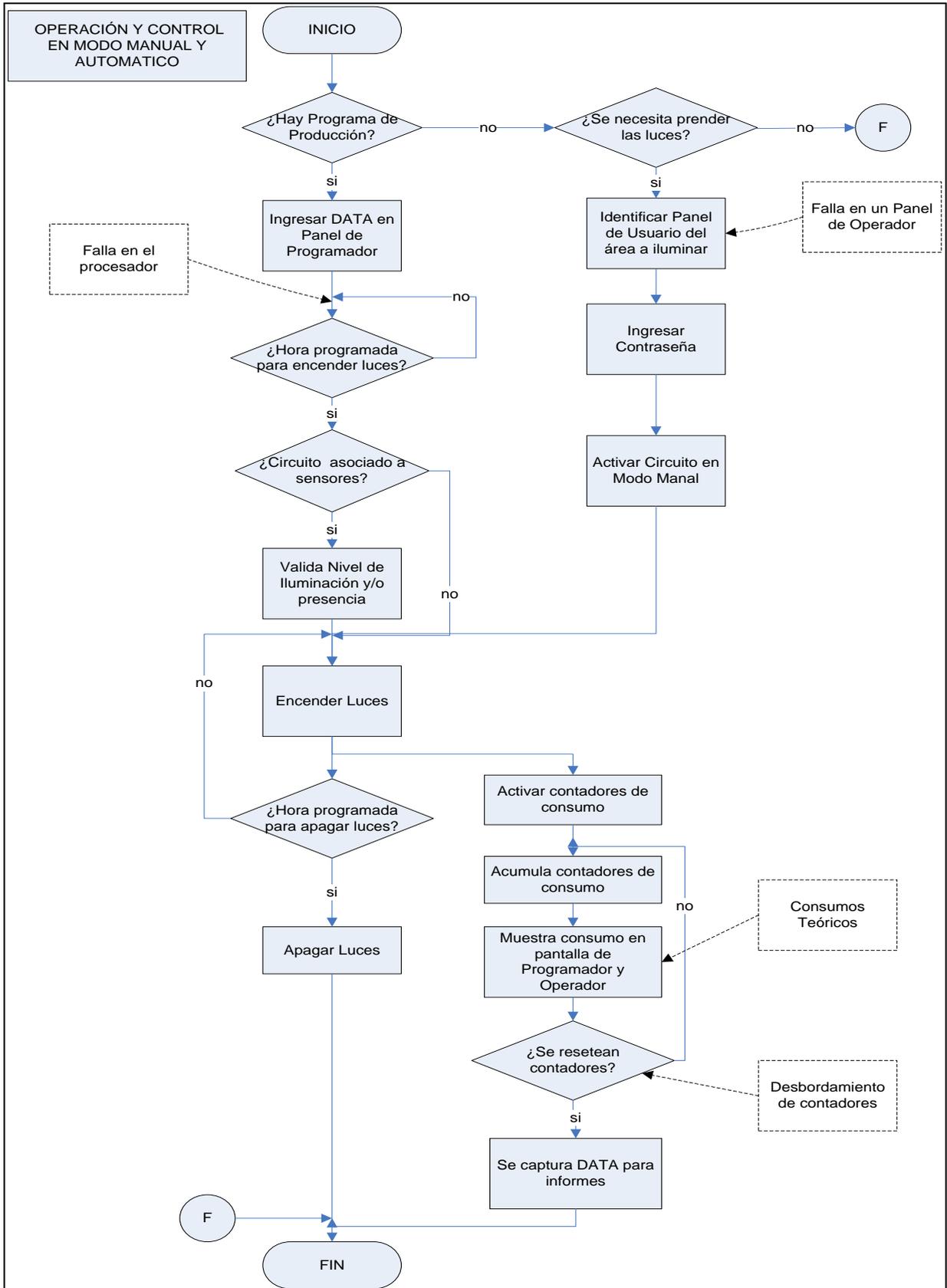


Figura 3.2. Diagrama de Flujo de Variables Internas en la Operación y Control en Modo Manual y Automático

Variables Internas para el diseño del sistema de control

1) Aplicaciones en Hardware y Software:

Es necesario hacer un análisis profundo para determinar por zonas de trabajo los dispositivos más adecuados y en el caso de software determinar las variables importantes a ser consideradas para el desarrollo de programas.

2) Facilidades y consideraciones de diseño:

Existen múltiples opciones en la selección de equipos; sin embargo, esta propuesta tratará de emplear los equipos con los cuales cuenta la empresa.

Se debe hacer un análisis de los requerimientos en función a los componentes con los que ya se cuenta para disminuir el costo económico en la implementación posterior a este diseño.

Se debe usar programas compatibles con las marcas y familias de los equipos seleccionados en el diseño del sistema de control de iluminación.

3) Limitaciones de hardware

La elección del tipo de sensor está en función de la zona a controlar siendo importante el tipo de trabajo que se realiza en el área y las disposiciones físicas como la distancia desde el centro de control al lado más alejado a controlar

En el proceso de selección de sensor de presencia se debe considerar situaciones donde las personas puedan estar quietas ya que en estos casos el sistema tiene que mantener las luces encendidas.

La atenuación de la señal de control se presenta como problema cuando el dispositivo de control se encuentra alejado del área a controlar.

Se debe tener cuidado en la selección de equipos para evitar problemas de compatibilidad entre marcas y familias.

Se debe hacer un estudio previo en función a la cantidad de componentes del sistema y disposiciones físicas de los mismos para la elección del bus o buses a usar en el diseño de la red de comunicación.

Se realizará la elección del controlador considerando que en la planta en estudio se dispone de PLC's de la familia SLC 500 de la marca Allen Bradley.

4) Limitaciones de Software

La limitación de usar un software determinado para el diseño es que no es compatible con otras marcas, sin embargo, la lógica empleada para el desarrollo de los programas es un valor agregado

Variables Internas para la operación y control en modo automático

1) **Falla en el Procesador**

El PLC es un dispositivo electrónico empleado en la industria por su robustez y confiabilidad; sin embargo, debe contemplarse como problema la falla del procesador. En este sentido, se debe diseñar la red de comunicación de tal forma que un terminal remoto como un computador personal pueda conectarse desde cualquier nodo de la red para encontrar la causa de la falla del procesador en un menor tiempo y sin necesidad de detener la comunicación entre los demás equipos.

2) **Falla en un Panel de Operador**

Se debe contemplar en el diseño de los programas de interfaz una opción que permita acceder al control de la zona en problemas a través de otro panel de operador que se encuentre en la red de comunicación. (Diseño de Pantallas Ocultas)

3) **Consumos teóricos**

La información de consumo ofrecida por el sistema es producto de un cálculo teórico en función al número de luminarias y la potencia de las mismas, sin embargo; si se desea optimizar esta información podrían añadirse transductores o amperímetros.

4) **Desborde de contadores**

La limitación del hardware puede afectar en la información de consumo ofrecido si existe desbordamiento, es decir, si se acumula los contadores por un período de tiempo mayor al que permite la capacidad del equipo empleado. Por ello, se debe mostrar una variable en la pantalla del Panel de Operador que sirva de alarma relacionada a la capacidad que se tiene en el equipo para almacenar datos o resetear los contadores por programa cada cierto tiempo.

3.3. **Diseño de Sistema de Automatización**

3.3.1. **Hipótesis**

Dado que en la actualidad existe preocupación por promover el uso racional y eficiente de la energía, entonces el diseño de un sistema de automatización de iluminación puede satisfacer la actual necesidad presentándose como una mejora que contribuya al control de la energía utilizada en sistemas de iluminación reduciendo costos y el impacto sobre el medio ambiente.

3.3.2. **Objetivos**

3.3.2.1. **Objetivo General**

Diseñar un sistema de automatización que permita un uso adecuado y eficiente de la energía eléctrica, a un costo razonable, en el sistema de iluminación de una planta industrial.

3.3.2.2. Objetivos Específicos

- 1) Selección de sensores y actuadores.
- 2) Diseño de un programa para controlar la secuencia de encendido de los contactores de fuerza de los circuitos de iluminación en función a los períodos de producción y la señal de sensores en las zonas elegidas.
- 3) Diseño de la interfaz de usuario que permita: ingresar los horarios de producción, realizar el control manual de los circuitos de iluminación desde la interfaz y monitoreo de horas de consumo teóricas.
- 4) Diseño de la red de comunicación industrial.
- 5) Realizar el estudio de factibilidad del proyecto.

3.4. Diagrama de Bloques

Al ser especificadas las tecnologías de control que se desarrollarán para el sistema de automatización (Ver Tabla 3.5), se presenta el diagrama de bloques de los subsistemas involucrados (Ver Figura 3.3), los cuales consideran parte de Hardware y Software que serán desarrollados en las siguientes páginas:

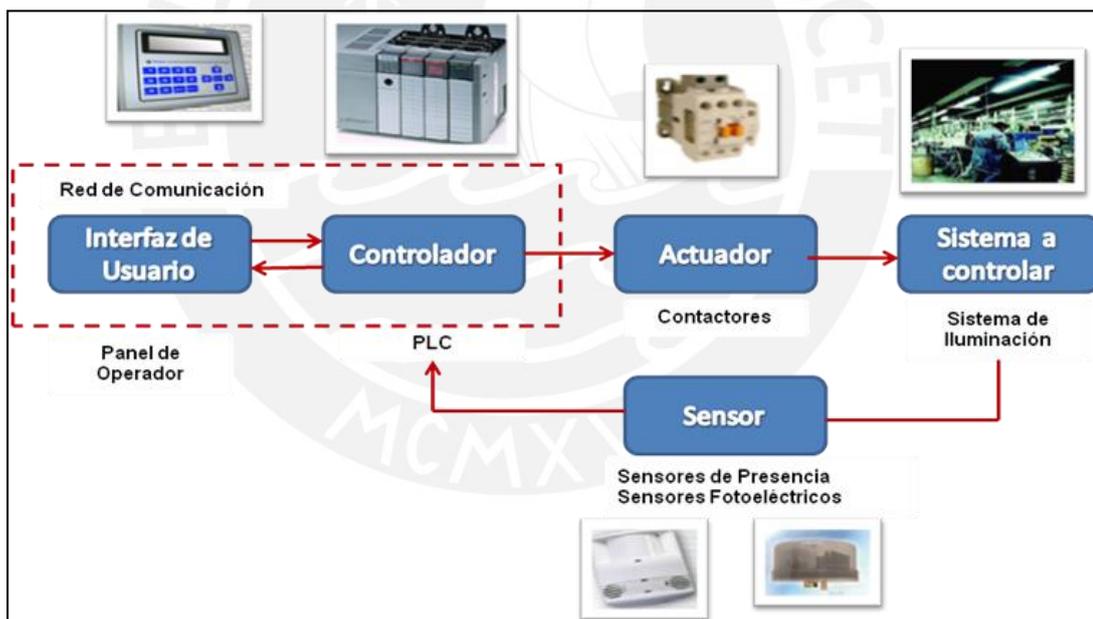


Figura 3.3. Diagrama de Bloques del Sistema de Automatización de Iluminación

3.5. Diseño de Hardware

3.5.1. Dispositivos de Entrada

3.5.1.1. Sensores

Estos dispositivos forman parte de las entradas del sistema. Se emplearán en este diseño dos tipos de sensores: sensores de presencia y sensores fotoeléctricos. Los sensores de presencia deben enviar una señal de detección o no detección (1 ó 0) al PLC quien procesará esta información; si es el caso, con la señal enviada por un

sensor fotoeléctrico indicando si el nivel de iluminación es suficiente o no para la zona controlada enviando un 1 ó 0 respectivamente .

3.5.1.1.1. Selección de sensores en Almacenes de Producto Terminado

En estas zonas se hace necesaria la acción conjunta de sensores de presencia con sensores fotoeléctricos para optimizar al máximo el consumo de energía, en vista que la disposición física de ambos almacenes no permite dar una línea directa de visión al sensor; por las cajas de productos que se distribuyen en el área, se descarta el uso de sensores infrarrojos. En consecuencia, se evalúa usar la tecnología de los sensores ultrasónicos quienes tienen la ventaja de no requerir línea directa de visión y detectar pequeños movimientos. Se plantean los siguientes requerimientos básicos en la tabla 3.5. y en la tabla 3.6 se muestran características de sensores disponibles.

Tabla 3.5. Requerimientos para sensor en zona de almacenes de producto terminado

| Descripción | Requisito |
|------------------------|---|
| Área de Cobertura | 750 (71.6 x 10.5) y 1000 (98 x 10.5) m ² |
| Temperatura de trabajo | 50°C |
| Consumo de Energía | La menor posible |
| Tipo de Salida | Relé |
| Tecnología de Sensor | Ultrasónico |

Tabla 3.6. Sensores Ultrasónicos posibles a usar en almacenes

| Descripción | W-2000A Biticino | UT-355-T Bticino | OSC20-UOW |
|--------------------------|---------------------------------|----------------------|--------------------------------|
| Área de Cobertura | 186m ² (15.2 x 12.2) | 186m (15.2 x12.2) | 191m ² (19.5 x 9.8) |
| Ángulo de Cobertura | 360° | 360° | 360° |
| Sensores necesarios | 4 y 5 | 4 y 5 | 4 y 5 |
| Consumo de Energía | 0.336 W | 3.08 W | 0.5 W |
| Costo Total S/. | 360 | 200 | 205 |
| Tipo de salida | Relé | Relé | Relé |
| Característica adicional | Requiere fuente 24VDC | Alimentación 220 VAC | Cuenta con Fotocelda |
| Tipo de Instalación | Sobrepuesto Techo | Embutido Techo | Sobrepuesto Techo |

3.5.1.1.1.1. Sensor Ultrasónico W-2000A

Se considera usar el modelo: W-2000A, por el área de cobertura y consumo de energía principalmente. Se usarán 4 sensores para el almacén del primer piso y 5 para el almacén del segundo piso. El número de sensores elegido ha considerado las disposiciones físicas de ambos almacenes garantizando que las puertas de ingreso estén dentro del área de cobertura de los sensores instalados. Para mayor detalle de

las disposiciones físicas de ubicación de los sensores, revisar el Anexo 4. Así mismo las características del sensor elegido se presentan en el Anexo 5.1. En el Anexo 5.2. se encuentran las características de todos los sensores ultrasónicos ofrecidos por la línea Bticino.

Entre las características del sensor,. Dado que en el almacén del primer piso existen puertas de ingreso distribuidas en su perímetro es necesario tener un ángulo de cobertura de 360°, por otro lado el bajo consumo de energía permite mantener un diseño eficiente y efectivo del sistema de automatización. Se empleará el mismo tipo de sensor en el almacén de segundo piso, aunque este no cuenta con puertas de ingreso en todo el perímetro, la distancias de cobertura de este sensor son ideales para esta área. La alimentación de los sensores será a través de una fuente regulable de 220 Vac a 24 Vdc. Los detalles de la fuente y el cableado para la conexión a los sensores son mencionados en la sección de selección de fuente de alimentación.

3.5.1.1.1.2 Sensor Fotoeléctrico con regulación de sensibilidad

Los niveles de iluminación en almacenes y depósitos fluctúan como mínimo entre los siguientes valores. 100 lux, 150 lux y 200lux [17].

En consecuencia, se necesita un sensor fotoeléctrico con una sensibilidad mayor o igual a 200 lux con salida a Relay pues se ha considerado usar módulos de entradas digitales. En la tabla 3.7 se muestran los sensores disponibles en el mercado.

Tabla 3.7. Sensores Fotoeléctricos disponibles para considerar en el diseño

| Descripción | LS-100XA | Fotocontrol Universal 1 | FotoControl Universal 2 |
|-----------------------------|--------------|-------------------------|-------------------------|
| Marca | Bticino | RBC Sitel | RBCSitel |
| Nivel de luz ajustable | 105-2150 lux | 0.1 a 6000 lux | 10-1000 lux |
| Retardo de Tiempo Ajustable | 3 a 5 min | 2,3,4,5,6,8,12 Horas | No |
| Tipo de salida | Relé | Relé | Relé |
| Costo S/. | 250 | 60 | 24 |

Los tres modelos de sensores fotoeléctricos cumplen con los requerimientos para el diseño. Todos tienen salida a Relay y cuentan con un rango de variación de sensibilidad por encima de los valores necesarios. Por un tema de costos se considera utilizar el Fotocontrol Universal con Regulación de Sensibilidad de RBS Sitel cuya hoja técnica se encuentran en el Anexo 5.4.

3.5.1.1.2 Selección de sensores en Aduanas

Esta zona limita con las líneas de producción a través de vidrios colocados en su perímetro. Dado que los sensores ultrasónicos pueden detectar presencia a través de vidrios, no se considera utilizar esta tecnología. Además, a diferencia de los almacenes, en las aduanas no se requiere un ángulo de cobertura de 360° pues al ingresar una persona deberá necesariamente lavarse las manos en uno de los lavaderos, dado que todos se encuentran en una fila, bastaría tener una cobertura de 180° o 90° colocando el sensor detrás de los lavaderos el ángulo de cobertura debe cubrir la parte frontal de los estos. Se considera que la tecnología de sensores infrarrojos es ideal para estas áreas, se evaluaron los modelos de sensores infrarrojos ofrecidos por la línea Watt Stopper.

Tabla 3.8. Sensores disponibles para considerar en el diseño

| Descripción | WPIR | OSWWV-10W |
|--------------------------|--------------------------|----------------------------|
| Área de Cobertura | 50m ² (7 x 7) | 100m ² (10 x10) |
| Ángulo de Cobertura | 90° | 90° |
| Sensores necesarios | 1 | 1 |
| Consumo de Energía | 0.336 W | 0.5W |
| Costo Total S/. | 200 | 210 |
| Tipo de salida | Relé | Relé |
| Característica adicional | Requiere fuente 24VDC | Requiere fuente 24VDC |
| Tipo de Instalación | Sobrepuesto Techo | Sobrepuesto Techo |

3.5.1.1.2.1 Sensor infrarrojo WPIR

Se ha elegido el sensor con código WPIR pues su patrón de cobertura es ideal para controlar ambas aduanas que tiene un área de 50m² aproximadamente. Las características del sensor se muestran en el Anexo 5.5. Al igual que el sensor ultrasónico, el ángulo de cobertura y el consumo de energía fueron las principales razones para su elección.

3.5.1.1.3 Fuente de Alimentación para sensores de presencia

Fuente que proporciona alimentación a los sensores de presencia. Como los sensores a emplear requieren una alimentación de 24 Vdc / 14 mA. La fuente elegida deberá cumplir con el requerimiento especificado. Esta fuente estará ubicada en un tablero de control donde se encuentra el chasis de PLC1 ya que todas las señales de los sensores deben llegar al módulo de entradas digitales de este PLC. Se elige la fuente de alimentación en función a la corriente consumida por la carga total de los

sensores considerados en el diseño. Como se mencionó anteriormente, se requieren 9 sensores de presencia para los almacenes y 2 sensores para las aduanas. Dado que cada sensor consume 14 mA; se tiene un consumo total de 154 mA, consumo de corriente que debe ser suministrado por la fuente de alimentación. En el mercado existe variedad de fuentes que cumplen con este requerimiento. En este caso se ha elegido una fuente de alimentación con las características especificadas en Anexo 5.6.

3.5.1.2 Interfaz de Usuario

Como interfaz de usuario se empleará un dispositivo de la familia Panel View de la marca Allen Bradley, estos terminales visuales de interfaz con el operador se utilizan en aplicaciones en que se necesita monitorear, controlar y desplegar información de un proceso o máquina de forma gráfica. La configuración de los terminales PanelView y el desarrollo de sus pantallas de interfaz para cada aplicación, son desarrolladas mediante el software de programación PanelBuilder32 en un computador y luego descargadas hacia el terminal PanelView. El PanelBuilder32 proporciona herramientas estándar, objetos, gráficos, bitmaps y edición de tags para configurar las pantallas de presentación del HMI y permitir el diálogo con el dispositivo controlador SLC 500 que se esté utilizando.

Algunas de las características que ofrecen los dispositivos Panel View son:

- ✚ Preferible compatibilidad con los controladores y redes Allen Bradley.
- ✚ Diálogo con el usuario del PanelView mediante teclado, pantalla táctil o la combinación de las dos opciones.
- ✚ Presentación y almacenamiento de disparo de alarmas por medio de listado de alarmas y banners.
- ✚ Pantallas con seguridad para limitar el acceso a las mismas a operadores autorizados.
- ✚ Puerto RS-232 de conexión a impresora para imprimir alarmas, listados de alarmas, mensajes.
- ✚ Puertos y protocolos de comunicación para varios tipos de redes como: como: Ethernet/IP, DeviceNet, ControlNet, DH+, RIO, DH-485, RS-232(con protocolo DH-485), RS-232 (con protocolo DF1), Profibus y Modbus.

Para esta aplicación se ha elegido trabajar con el modelo de panel de operador que se encuentra disponible para su uso en la planta en estudio. Este panel es a color, de diálogo con el usuario mediante teclado. El modelo del panel de operador es PANEL

VIEW PLUS 600 (Ver Figura 3.4.a) y permite trabajar bajo el protocolo DH-485 y RS-232. Los terminales de conexión se muestran en la Figura 3.4.b.

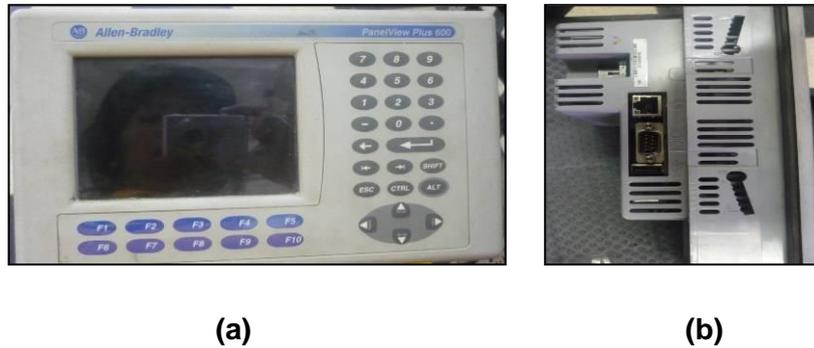


Figura 3.4. Panel de Operador Panel View Plus 600

a) Vista frontal de panel de operador b) Vista lateral, terminal de conexiones

3.5.2 Actuadores

Estos dispositivos, como su nombre lo indica, son los encargados de actuar directamente con el proceso a controlar en función al estado de los dispositivos o variables de entrada al sistema de control. El actuador empleado tendrá la función de activar o desactivar un circuito de iluminación al permitir o impedir el paso de energía. La acción del actuador dependerá de la señal enviada por el controlador donde se verificará los siguientes casos:

- a) El circuito será activado si la hora en el PLC es mayor o igual a la hora de encendido configurada por el usuario administrador e impedirá el paso de energía en el caso que la hora actual en el PLC es mayor a la hora de apagado configurada también por el usuario.
- b) El usuario decide activar o desactivar en forma manual el circuito a través de la interfaz hombre-máquina.
- c) El circuito se activará en forma automática sólo si el sensor de presencia indica detección y el sensor fotoeléctrico indica que el nivel de iluminación es menor a 200 lux.

3.5.2.1 Comparación de Tecnologías y componente seleccionado

Las tecnologías que podrían emplearse para esta función son las siguientes: relé, contactor, relé de estado sólido y TRIAC. La siguiente tabla muestra las características principales de los posibles actuadores a utilizar. (Ver Tabla 3.9)

Tabla 3.9. Tecnologías posibles a utilizar como actuador

| Características | Relé | Contactador | Relé de Estado Sólido | TRIAC |
|---------------------------------|----------------------------|----------------------------|------------------------|------------------------|
| Elemento Semiconductor empleado | Contactos Electromecánicos | Contactos Electromecánicos | Elemento Semiconductor | Elemento Semiconductor |
| Desgaste Mecánico | Si | Si | No | No |
| Rapidez de conmutación | Lenta | Lenta | Rápida | Rápida |
| Nivel Técnico requerido | Intermedio | Intermedio | Intermedio | Alto |
| Detección de Falla | Rápido | Rápido | Rápido | Lento |
| Stock Mercado Nacional | Medio | Alto | Medio | Bajo |

De la tabla anterior, se llega a la conclusión que el contactador es la tecnología mas adecuada para emplear ya que a pesar de presentar desgaste mecánico y tener una lenta conmutación, debe recordarse que este componente será instalado en una planta industrial donde el mantenimiento del mismo estará a cargo de técnicos. Siento planteada esta situación, los contactores tienen como ventajas que no requieren un nivel técnico alto para su operación, además que la detección de fallas es rápida, pero sobretodo el stock en el mercado es alto ya que estos actuadores son usados comúnmente en la automatización industrial y en consecuencia siempre se dispone de ellos en los almacenes de repuestos.

Por otro lado, este dispositivo permite interrumpir el paso de corriente ya sea en el circuito de potencia o en el de mando y dicha acción la realiza cuando se energiza la bobina que tiene en su interior. Los contactores tienen la posibilidad de ser accionados a distancia (desde su parte de mando), pudiendo accionar grandes potencias (centenares de kilovatios).

3.5.2.2. Componente seleccionado

El contactador seleccionado ha sido elegido en función a una corriente de diseño equivalente a 1.25 veces el valor de la corriente de línea de cada circuito a controlar y para el voltaje de control se ha considerado que en la planta en estudio se cuenta con un sistema trifásico sin neutro con voltaje de línea igual a 220 voltios (Ver Figura 3.5). El cálculo de corriente nominal para cada circuito a controlar se muestra en el Anexo 10. Para el cálculo se requieren los datos de consumo de los equipos de iluminación instalados en la planta los cuales se muestran en la Tabla 3.10.

Como la corriente de diseño no es superior a 25 A, se eligió el contactador cuyas características se muestran en el Anexo 5.7. Dado que se controlarán 76 circuitos de

iluminación distribuidos en tableros eléctricos según se presenta en el Anexo 6.1 y 6.2, se requieren 76 contactores de este modelo y en consecuencia se requieren 76 salidas distribuidas en los dos PLC a utilizar, mayor detalle se dará en la sección referente selección de módulos de salida.

Tabla 3.10. Características de equipos de iluminación instalados en la planta

| Características de lámparas fluorescentes | | Características de lámparas High Bay | |
|---|------|--------------------------------------|------|
| Potencia de fluorescente | 36W | Potencia de lámpara | 400W |
| Potencia de balastro | 8W | Potencia de balastro | 43W |
| Alimentación | 220V | Alimentación | 220V |
| Cos(phi) | 0.54 | Cos(phi) | 0.64 |

$$I_{\text{DISEÑO}} = \frac{1.25 \times N^{\circ} \text{ Lámparas} \times \text{Potencia Activa por equipo (W)}}{1.7320 \times V_{\text{LÍNEA}} \times \cos(\phi)}$$

Figura 3.5. Cálculo de corriente de diseño para elección de contactor

3.5.3. Familia de Controladores Lógico Programables SLC 500

Los productos SLC 500 de Allen Bradley constituyen una familia de Controladores Lógicos Programables (PLCs) de tipo modular para los cuales en un chasis o rack se van colocando sus distintos elementos modulares como son: controladores programables o CPUs, módulos I/O digitales, módulos I/O analógicos, y módulos especiales para temperatura, conteo, control de procesos y lenguaje BASIC. También se dispone de módulos de comunicación para un amplio rango de configuraciones para distintos tipos de redes industriales tales como: RS-485, Ethernet, ControlNet, RIO, etc. Y para adquisición de datos desde sitio remoto se tiene los módulos llamados Flex I/O. Todos estos dispositivos de la familia SLC 500 son configurados y programados mediante el software de programación de lenguaje Ladder RSLogix 500.

3.5.3.1 Componentes Básicos de un Sistema SLC 500

Como mínimo, un sistema SLC 500 en sus componentes de hardware está conformado por un módulo procesador, un módulo I/O, un rack o chasis de montaje de los módulos, y una fuente de poder, como se puede apreciar en la Figura 3.6.

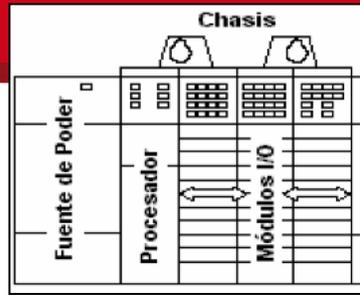


Figura 3.6. Componentes básicos de un Sistema SLC 500

3.5.3.1.1 Selección de módulos de entrada

Los módulos de entrada son necesarios para conectar las señales de los sensores de presencia y sensores fotoeléctricos los cuales ejercerán control los almacenes y aduanas. El número de entradas ha sido elegido en función al área a controlar y el alcance en metros de los sensores elegidos para el control. En la Tabla 3.11. se muestra la asignación de entradas en cada ambiente a controlar.

Tabla 3.11. Requerimientos de Entradas

| | N° Entradas |
|------------------|-------------|
| Almacén 1er Piso | 5 |
| Almacén 2do Piso | 6 |
| Aduana 1er Piso | 1 |
| Aduana 2do Piso | 1 |
| | 13 |

En función al requerimiento, se utiliza un Módulo de 16 entradas. Dado que se emplearán sensores de salida digital, el módulo a utilizar es un módulo de entradas digitales cuyas características se presentan en el Anexo 5.8.

3.5.3.1.2 Selección de módulos de salida

Los módulos de salida son necesarios para conectar las bobinas de los contactores a las salidas del módulo. Al activarse en el programa una salida, la bobina del contactor conectado a esta salida del módulo se energiza con lo cual se induce una corriente en el contactor lo cual genera un campo magnético que permite cerrar los contactos del contactor logrando activar un circuito de iluminación en particular. El número de salidas para estos sectores está en función a la cantidad de circuitos existentes pues no se modificará la distribución de los mismos. Dado que los tableros eléctricos están distribuidos en dos pisos como se muestra en el Anexo 6, se hace necesario distribuir el control en dos PLC como mínimo. Se ha considerado colocar cada PLC cerca de los demás tableros eléctricos en un lugar estratégicamente elegido con finalidad de reducir el cableado. En la tabla 3.12 se presenta el número de salidas requeridas en cada PLC indicando el sector al cual pertenecen.

Tabla 3.12. Requerimiento de Salidas – PLC1 y PLC2

| Distribución de Salidas en PLC1 | | Distribución de Salidas en PLC2 | |
|---------------------------------|------------|---------------------------------|------------|
| Descripción | N° Salidas | Descripción | N° Salidas |
| Empaque Línea 1 | 7 | Cuarto de Masas | 4 |
| Empaque Línea 2 y 3 | 7 | Laminado | 8 |
| Empaque Línea 4 | 4 | Línea 7 | 8 |
| Línea 5 y Línea 6 | 7 | Línea 8 | 7 |
| Almacén 1er Piso | 4 | Zona de Bandejas | 9 |
| Almacén 2do Piso | 5 | TOTAL | 36 |
| Aduana 1er Piso | 3 | | |
| Aduana 2do Piso | 3 | | |
| TOTAL | 40 | | |

Se emplearán los módulos de 16 salidas para utilizar los equipos con los que se cuenta en la empresa a fin de reducir los costos de implementación. En consecuencia, dados los requerimientos se necesitan 3 módulos de salida para el PLC1 y 3 módulos para el PLC2. El módulo a emplear tiene las siguientes características presentadas en el Anexo 5.9.

3.5.3.1.3 Selección de procesador

El procesador para el sistema SLC 500 debe ser seleccionado en base a la capacidad de memoria, número de I/O que se va a manejar, desempeño, requerimientos de programación y opciones de comunicación.

En la planta en estudio se dispone de procesadores modelos SLC 5/02, SLC 5/03 y SLC 5/04. Durante el desarrollo de código de programación se trabajó en principio con el modelo SLC 5/02 pero al no poder encontrar las funciones deseadas como el Reloj/Calendario en tiempo Real; se procedió a trabajar con el modelo SLC 5/03 de 8K de memoria. Como la cantidad de memoria era insuficiente se trabajó con el mismo modelo pero con 16K de memoria. Al encontrar que los requerimientos de software se adaptaban a lo ofrecido por el modelo SLC 5/03 de 16K se eligió este procesador. Las especificaciones generales del procesador SLC 5/03 se presentan en el Anexo 5.10.

3.5.3.1.4 Selección de Chasis

La selección de el o los chasis se determina en función a la cantidad de slots que se necesita para la aplicación y considerando futuras expansiones. Los chasis modular SLC 500 proporcionan flexibilidad en la configuración de 4-slots, 7-slots, 10-slots y 13-slots. Para esta aplicación, se empleará 1 chasis de 7 slots y 1 chasis de 4 slots. La distribución por slots para cada chasis se detalla en la Tabla 3.13

Tabla 3.13. Distribución por slots para cada chasis

| CHASIS DE 7 SLOTS- PLC1 | | CHASIS 4 SLOTS- PLC2 | |
|-------------------------|------------------------------|----------------------|-------------------------|
| SLOT | COMPONENTE | SLOT | COMPONENTE |
| 0 | Procesador SLC 5/03 | 0 | Procesador SLC 5/03 |
| 1 | Módulo de entradas digitales | 1 | Módulo de salidas Relay |
| 2 | Módulo de salidas Relay | 2 | Módulo de salidas Relay |
| 3 | Módulo de salidas Relay | 3 | Módulo de salidas Relay |
| 4 | Módulo de salidas Relay | - | - |
| 5 | Reservado | - | - |
| 6 | Reservado | - | - |

3.5.3.1.4 Selección de Fuente de Poder

La fuente de poder para cada chasis debe ser seleccionada en base a la demanda de carga del sistema y considerando futuras expansiones de módulos que se adicionen en los slots libres. La selección de la fuente de poder para el sistema debe ser cuidadosamente seleccionada para conseguir un rendimiento óptimo y evitar una excesiva carga de la fuente, lo que puede causar un apagado súbito de la misma o fallas prematuras. En la Tabla 3.14 se detalla las capacidades de corriente para cada una de las fuentes de alimentación de Allen Bradley. En la Tabla 3.15. y 3.16. se especifica el consumo de corriente para cada chasis y en función a las capacidades de corriente de cada fuente se elegirá la mas adecuada. Las corrientes máximas consideradas para cada módulo a integrar en el chasis se obtiene de la tabla para cálculo de la fuente de alimentación proporcionada por Allen Bradley. En esta tabla se indica la corriente máxima consumida por cada componente de hardware compatible con los controladores SLC 500. La tabla se encuentra en el Anexo 14.

Tabla 3.14. Capacidades de Corriente por Fuente de Alimentación

| Fuente de Alimentación | Capacidad de Corriente | | |
|------------------------|------------------------|------|-------|
| | Número de Catálogo | 5V | 24V |
| 1746-P1 | | 2A | 0.46A |
| 1746-P2 | | 5A | 0.96A |
| 1746-P3 | | 3.6A | 0.87A |
| 1746-P4 | | 10A | 2.88A |

Tabla 3.15. Corriente de carga para Chasis 1-PLC1

| Slot | Número de Catálogo | Corrientes máximas | |
|--|--------------------|--------------------|-------|
| | | 5V | 24V |
| Slot 0 | 1747-L532 | 0.500 | - |
| Slot 1 | 1746-IB16 | 0.085 | - |
| Slot 2 | 1746-OW16 | 0.170 | - |
| Slot 3 | 1746-OW16 | 0.170 | - |
| Slot 4 | 1746-OW16 | 0.170 | - |
| Slot 5 | - | - | - |
| Slot 6 | - | - | - |
| Dispositivo Periférico | 1747-AIC | - | 0.085 |
| Dispositivo Periférico | 1747-AIC | - | 0.085 |
| Suma de corrientes de carga de la fuente | | 1.095 | 0.170 |

De la Tabla 3.15. se concluye que se debe elegir la fuente con número de catálogo 1746-P1

Tabla 3.16. Corriente de carga para Chasis 2-PLC2

| | | Número de Catálogo | Corrientes máximas (mA) | |
|--|---|--------------------|--------------------------|-------|
| | | | 5V | 24V |
| Slot | 0 | 1747-L532 | 0.500 | - |
| Slot | 1 | 1746-IB16 | 0.085 | - |
| Slot | 2 | 1746-OW16 | 0.170 | - |
| Slot | 3 | 1746-OW16 | 0.170 | - |
| Dispositivo Periférico | | 1747-AIC | - | 0.085 |
| Dispositivo Periférico | | 1747-AIC | - | 0.085 |
| Suma de corrientes de carga de la fuente | | | 0.925 | 0.170 |

De la Tabla 3.16 se concluye que se debe elegir la fuente con número de catálogo 1746-P1.

3.5.4 Selección de Red de Comunicación Industrial

3.5.4.1 Descripción de la Red DH-485

El control se distribuirá en dos PLC's, cada uno tendrá además una interfaz HMI para permitir el control y configuración de valores en el sistema. Por ello es necesario seleccionar el módulo de comunicación y el cableado necesario. Los tipos de redes que soportan la familia de controladores SLC 500 son: Ethernet, Control Net, Device Net, Data High Way Plus, DH-485 y RIO. Sin embargo, restringiéndose por el procesador utilizado, se trabajará con la Red DH-485.

El canal DH-485 es una opción de conexión física que ofrece:

- ✓ Permite compartir información entre los dispositivos de piso de planta.
- ✓ Permite realizar: Monitoreo de procesos, estado y parámetros de dispositivos incluyendo detección de alarmas y fallas, adquisición de datos, funciones de control y supervisión.
- ✓ Carga y descarga de programas PLC sobre la red.
- ✓ Conexión de hasta 32 nodos
- ✓ Habilidad de añadir o remover nodos sin interrupción de la red.
- ✓ Velocidades de comunicación de hasta 19.2 K baudios
- ✓ Aislamiento eléctrico a través del módulo 1746-aic
- ✓ Longitud de red máxima de 1,219m (4000ft)
- ✓ Especificaciones eléctricas RS-485

3.5.4.2 Consideraciones de Hardware

Se considera diseñar la red de comunicación entre los dos PLC's y los dos Panel View. En este sentido, dado que se ha definido la distribución física de los PLC's y los Paneles de Operador (Ver Anexo 7), se debe considerar la cantidad de metros de cable y la cantidad de acopladores de vínculo aislado que se requieren en la red. El fabricante recomienda usar el cable Belden #9842 y como acopladores de vínculo recomendando usar el dispositivo con código AIC 1747-AIC. Ambos componentes serán descritos a continuación.

3.5.4.2.1 Cable Belden #9842

Este cable de comunicación tiene forro y blindaje con dos cables dobles retorcidos y un cable a tierra (Ver Figura 3.7). El cable doble proporciona una línea de señal balanceada, un cable es utilizado como línea de referencia común entre todos los nodos de red. El blindaje reduce el efecto de ruido electro del entorno industrial en la comunicación de red. La disposición física de los cables a un acoplador de interfaz que representa un nodo en la red es como se muestra en el Anexo 8. Para mayor detalle revisar el Anexo 12.2.



Figura 3.7. Cable Belden # 9842

3.5.4.2.2 Acoplador de Vínculo Aislado 1747-AIC

El acoplador de vínculo aislado (1747-AIC) se usa para conectar los dispositivos de la familia SLC 500 a la red DH-485. El acoplador proporciona un conector de 6 vías para conexión con el cable de comunicación DH.485. Para proteger a los dispositivos conectados en la red, el acoplador proporciona un aislamiento de 1500 Vcc entre el cable de comunicaciones, el controlador SLC 500 conectado y el o los equipo(s) periférico(s). Una grafica representativa del acoplador se muestra en la Figura 3.8.

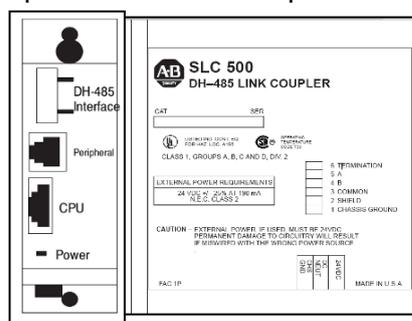


Figura 3.8. Acoplador de Vínculo Aislado 1747-AIC

Este acoplador requiere para su alimentación un voltaje operativo: $24\text{ VCC} \pm 25\%$. Puede emplearse para su alimentación una fuente externa o utilizar la fuente de alimentación del chasis. El AIC posee también tres interfaces, una de ellas se usa para conexión con el PLC (CPU), la segunda para la troncal de la red y la tercera (PERIPHERAL) para conectar a una interfaz HMI como se muestra en la Figura 3.7.

En esta aplicación se empleará la fuente de comunicación del chasis. Se utilizará un acoplador por cada equipo o periférico conectado a la red para facilitar la comunicación de un terminal remoto o computador personal desde cualquiera de los acopladores a través de la interfaz disponible.

3.5.4.3 Consideraciones de Software

Las consideraciones de software incluyen la configuración de red y los parámetros que pueden configurarse para los requisitos específicos de la red. Las configuraciones para la red de comunicación se hacen a través del Software RsLinx.

3.5.4.3.1 Software RsLinx

Este programa se encarga de la comunicación entre los PLC y periféricos instalados en una red. En este caso se utiliza una red DH-485; para configurar la red, se debe establecer el dispositivo que utilizará cada elemento de la red para comunicarse con los demás nodos. Para esta aplicación se emplearán los AIC, unidades que se utilizan para agregar nodos a una red DH-485. Al conectar los equipos que pertenecen a la red, el RSLinx establece la comunicación indicando en su pantalla principal el icono de cada PLC, computador o periférico conectado como se muestra en la Figura 3.9.

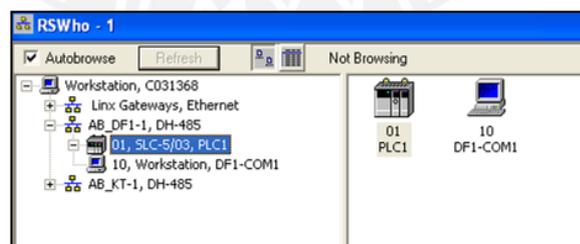


Figura 3.9. Visualización de dispositivos conectados en una red DH-485

3.5.4.3.2 Número de nodos

El número de nodos en la red afecta directamente el tiempo de transferencia de datos entre nodos. En esta red se utilizarán 5 nodos cuya descripción se muestra en la Tabla 3.17.

Tabla 3.17. Nodos en la red de comunicación DH-485 diseñada

| | |
|---------------|---------------------|
| Nodo 0 | Computador Personal |
| Nodo 1 | PLC 1 |
| Nodo 2 | Panel View 1 |
| Nodo 3 | PLC 2 |
| Nodo 4 | Panel View 2 |

3.5.4.3.3. Parámetros a configurar en los componentes de la red

El mejor rendimiento de la red se obtiene a la más alta velocidad en baudios, la cual es 19200. Se configurarán todos los dispositivos a esta velocidad, en el caso de los procesadores este valor es almacenado en el archivo de estado del procesador (S:15H). En el Anexo 9 se muestran los parámetros que deben configurarse para cada nodo, es importante que estos parámetros tengan los mismos valores para todos los componentes de la red de comunicación.

3.5.5 Diseño de conexiones eléctricas

3.5.5.1 Conexiones entre controladores y paneles de operador

La conexión de los dos controladores y los dos paneles de operador considerados para este diseño se detalla en la Figura 3.10. y para más detalle del cableado de los Anexos 12.1 y 12.2. La alimentación de los controladores es directamente de dos líneas del sistema trifásico (220Vac), para la protección contra sobre corriente se considera usar un fusible de 20 A (máxima corriente soportada por la fuente de alimentación de cada PLC). Los paneles de operador son alimentados con 220Vac y para protección contra sobre corriente se emplea un fusible de 1A ya que la potencia consumida en este dispositivo en AC es de 60VA. La conexión en red de los equipos se realiza a través de los acopladores de interfase (1747 AIC) alimentados con 24Vdc suministrados por la fuente de cada PLC. Los acopladores están unidos por el cable Belden #9842.

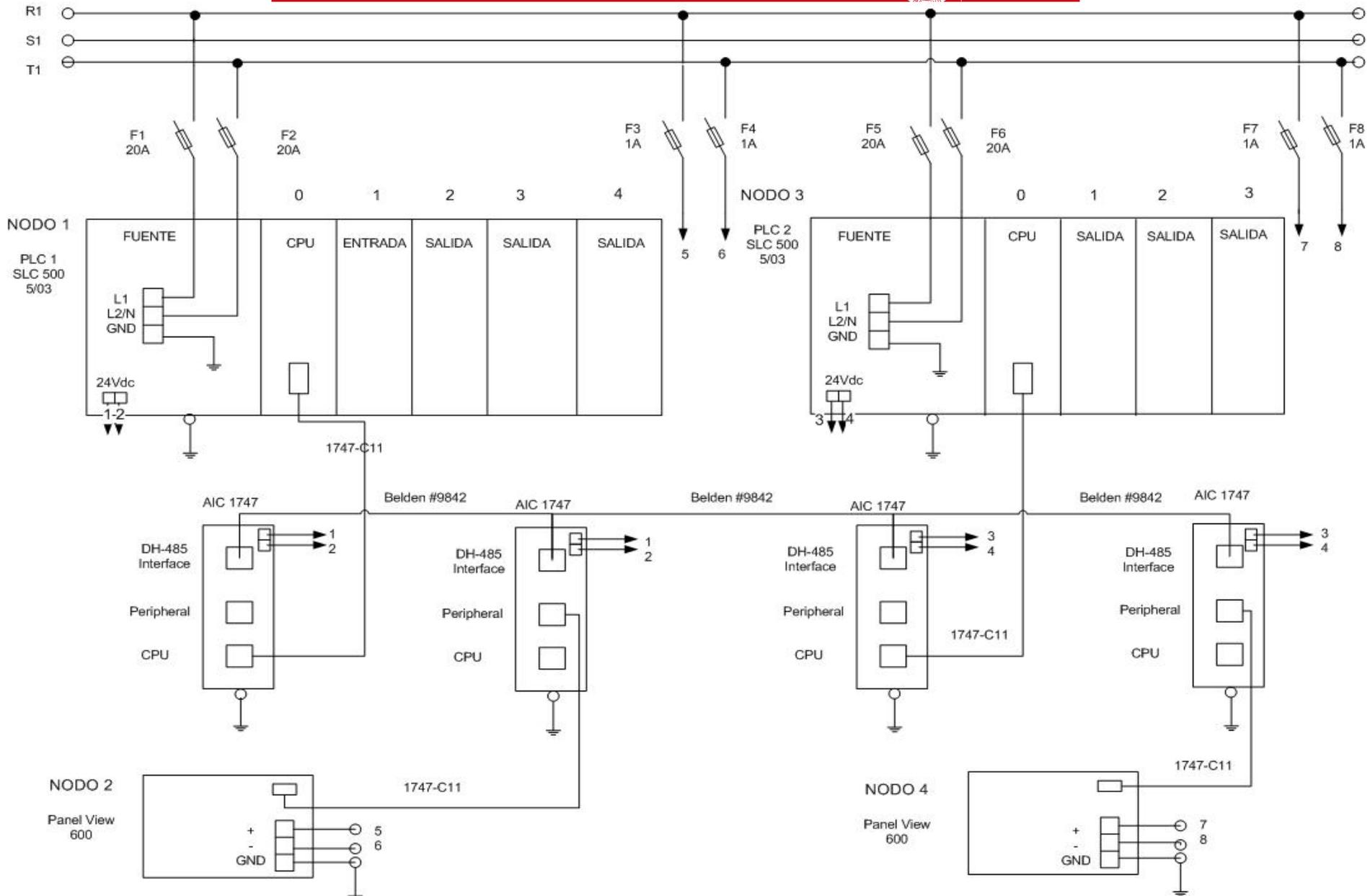


Figura 3.10. Conexiones entre controladores y paneles de operador en red de comunicación

3.5.5.2. Cableado de fuerza de interruptores termo magnéticos y contactores

Actualmente en la planta se cuenta con 14 tableros eléctricos de iluminación. Cada tablero contiene interruptores termonagnéticos asociados a los circuitos de iluminación. El sistema de automatización propuesto requiere tener tableros de control con contactores de manera que estos sean los actuadores que permitirán el encendido o apagado de los circuitos en forma automática en función a la configuración de horas de producción o en forma manual desde el panel de operador. Dada la distribución los 14 tableros eléctricos se considera la siguiente distribución de tableros de control. (Ver Tabla 3.18)

Tabla 3.18. Distribución de Tableros de Control

| PLC 1 | | PLC 2 | |
|--------------------------|--------------------|-------------------------|--------------------|
| Tablero de interruptores | Tablero de Control | Tablero de interuptores | Tablero de Control |
| TA4 | TA3 | TA1 | TA1 |
| TA5 | TA4 | TA2 | |
| TA6 | TA5 | TA3 | TA2 |
| TA7 | TA6 | TA8 | TA7 |
| TA11 | TA10 | TA9 | TA8 |
| TA12 | | TA10 | TA9 |
| TA13 | TA11 | | |
| TA14 | | | |

Como se observa en la tabla anterior, se tendrán 11 tableros de control con contactores. Se debe recalcar que se requiere también contar con dos tableros principales donde se encontrará cada PLC y el panel de operador. Se utilizará uno de los tableros de control para conectar los contactores y a su vez conectar el PLC (PLC2) con sus respectivos módulos y se empleará un tablero adicional para el PLC 1 al cual llegarán las señales de entrada de los sensores. En total se emplean 12 tableros de control, para realizar este cableado se debe considerar la corriente nominal por circuito a fin de elegir el calibre de conductor adecuado y evitar los problemas por caída de tensión. El cableado de fuerza considera conectar las salidas de los interruptores termo magnéticos a los contactos del contactor, las salidas de este componente deben ir cableadas a los circuitos de iluminación respectivos. El calibre de conductor a emplear es elegido en función a la corriente de diseño que equivale a 1.25 veces la corriente nominal y los factores de corrección por: número de cables en un tubo y temperatura ambiente de 40°C, temperatura promedio en el interior de la planta. Los calibres para cada circuito y la caída de tensión de los mismos se especifican en el Anexo 11.1.

3.5.5.3 Cableado de módulos de entrada a sensores en aduanas y almacenes

La conexiones de las señales de los sensores al módulo de entradas se detallan gráficamente en el Anexo 12.3. El calibre de conductor a emplear es elegido en

función a la corriente de diseño que equivale a 1.25 veces la corriente nominal del circuito y los factores de corrección por: número de cables en un tubo y temperatura ambiente de 40°C en promedio en el interior de la planta. Los calibres para cada circuito y la caída de tensión de los mismos se especifican en el Anexo 11.2.

3.5.5.4 Cableado de mando de las bobinas de contactores a los módulos de salida de los PLC.

Las conexiones de las señales de los sensores al módulo de salidas se detallan gráficamente en los Anexos 12.4 y 12.5. El calibre de conductor a emplear es elegido en función a la corriente de diseño que equivale a 1.25 veces la corriente nominal del circuito y los factores de corrección por: número de cables en un tubo y temperatura ambiente de 40°C en promedio en el interior de la planta. Los calibres para cada circuito y la caída de tensión de los mismos se especifican en el Anexo 11.3.

3.5.6 Diseño de Software

3.5.6.1 Programación en Lenguaje Ladder para SLC 500 5/03

3.5.6.1.1 RsLogix 500

Este software permite diseñar el programa en lógica de escalera usado en la familia de PLC's SLC 500. Para empezar a desarrollar el software se debe crear un nuevo proyecto, esto se hace por medio del menú principal, cuando se crea un nuevo proyecto se elige el procesador que se usará, así como los módulos que forman parte del sistema.

3.5.6.1.2. Funciones implementadas en Lenguaje Ladder

El programa implementado en Lenguaje Ladder satisface los requerimientos para el procesamiento de datos y automatización de la iluminación en las zonas a controlar. A continuación se describe cada una de las funciones implementadas en lenguaje Ladder.

3.5.6.1.2.1 Actualización de la fecha del PLC

Esta función permite almacenar la fecha del PLC (Hora : Minutos) en un archivo de tipo punto flotante, el valor almacenado en el archivo es la conversión de horas a minutos más la cantidad de minutos entre mil. Se realiza este cálculo para poder hacer las comparaciones de hora para el encendido o apagado de los circuitos de iluminación a través de una variable, esto implica que las horas de encendido y apagado configuradas por el usuario deben ser convertidas al mismo formato en otro archivo de tipo punto flotante.

La subrutina que implementa esta función se llama: CONTROL

El diagrama de flujo de la subrutina se encuentra en el Anexo 13.1

3.5.6.1.2.2 Actualización de fecha para la configuración en Modo Automático

Esta función permite actualizar los días que serán configurados teniendo como límite el máximo número de días del mes actual en el PLC. Esta función es activada cuando el usuario presiona la tecla asociada al indicador “Actualizar Fechas” mostrado en el Panel de Operador (Ver Anexo). Se ha considerado que el usuario tenga la opción de configurar las horas de encendido y apagado de las luminarias en un período de hasta 12 días. La actualización de días considera el número de días de cada mes y en caso se llegue al último día del mes actual la actualización continua con los primeros días del siguiente mes.

La subrutina que implementa esta función se llama: DIAS

El diagrama de flujo de la subrutina se encuentra en el Anexo 13.2

3.5.6.1.2.3 Modo Automático y Modo Manual

Esta función permite activar y/o desactivar los circuitos de iluminación en modo manual o automático. En modo automático, se controla el encendido y apagado de los circuitos de iluminación en función a: las horas programadas por el usuario, la hora actual en el PLC, el día configurado y el día actual en el PLC. El código en Lenguaje Ladder valida en primer lugar los días configurados por el usuario y si corresponde al día actual en el PLC, considera las horas configuradas por el usuario para ese día y valida las horas de inicio y fin para la activación y desactivación de los circuitos de iluminación respectivamente. Al estar la hora del PLC dentro del rango de hora de encendido y apagado, se activa un bit el cual permitirá activar en paralelo dos contadores y un temporizador para poder realizar el cálculo de consumo teórico en función al tiempo en que permanecen encendidas las luminarias y potencia consumida por las mismas. Dichos dispositivos son desactivados cuando la hora configurada para apagar un circuito es menor a la hora actual en el PLC.

El modo manual es habilitado para activar los circuitos de iluminación en períodos de tiempo no configurados en el modo automático, es decir en situaciones no planificadas. El usuario tiene la opción de activar o desactivar los circuitos a través del panel de operador y en función a las teclas de este. Al presionar una tecla, se activa un bit que permite activar una salida en particular así como activar los temporizadores y contadores empleados para el cálculo de consumo. Una vez activado un circuito en modo manual, se puede desactivar el mismo presionado la misma tecla con que se activo el circuito con lo cual se regresa al funcionamiento el

modo automático. Cada temporizador es del tipo retentivo al igual que los contadores, para garantizar que el valor acumulado de la cuenta no sea reseteado por un corte de energía o al cambiar de modo manual a automático.

La subrutina que implementa esta función se llama: ENC_AUTO

El diagrama de flujo de la subrutina se encuentra en el Anexo 13.3

3.5.6.1.2.4 Cálculos de Consumos Teóricos

Esta función permite obtener el reporte de consumos teóricos en cada línea de producción con los valores acumulados en los contadores como resultado de los tiempos en que se activaron los circuitos en modo automático y modo manual. Los cálculos se realizan para períodos de un mes. Cada vez que termine el mes, se almacena el valor de consumo de ese período y automáticamente se resetean los contactores y temporizadores para iniciar el cálculo de consumo del siguiente mes.

La subrutina que implementa esta función se llama: CALCULOS

El diagrama de flujo de la subrutina se encuentra en el Anexo 13.4

3.5.6.1.2.5 Administración de Usuarios por Password

Esta función permite restringir el acceso de los usuarios al sistema. Se ha considerado que el usuario administrador sea el personal que pertenece al área de mantenimiento, este usuario tiene el privilegio de poder acceder a: modo automático, modo manual, registro de consumos mensual y acumulados y registro de accesos. Las opciones son presentadas en un menú una vez que el usuario administrador ingresa su clave, el programa valida el número ingresado y envía un número de control al panel de operador indicándole la pantalla que debe mostrar.

Los demás usuarios, conformados por el personal de las líneas de producción, solo tienen acceso al modo manual; la validación de password y salto a la pantalla respectiva es procesada de igual forma que en el caso del usuario administrador.

La subrutina que implementa esta función se llama: PASSWORD.

El diagrama de flujo de la subrutina se encuentra en el Anexo 13.5

3.5.6.1.2.6 Activación de circuitos mediante sensores

Esta función permite activar y/o desactivar circuitos de iluminación en las zonas de almacén y aduanas. El programa recibe la señal de los sensores de presencia y los sensores fotoeléctricos, la activación de los circuitos se da solo si se detectó presencia y el nivel de iluminación está por debajo del estándar.

Una vez activado un circuito, si no se detecta presencia el programa enclava el bit que activo el circuito de iluminación para que los circuitos permanezcan activados por

un tiempo de 2 minutos en el caso de almacenes y 1 minuto para las aduanas. Este enclavamiento se da para evitar que el sensor indique una “falsa detección” cuando una persona permanece quieta. Al transcurrir el tiempo respectivo, se desenchava el bit. La subrutina que implementa esta función se llama: SENSORES
El diagrama de flujo de la subrutina se encuentra en el Anexo 13.6

3.5.6.1.2.7 Activación y desactivación de circuitos de iluminación

La activación de un circuito de iluminación se realiza a través de la bobina de un contactor, este dispositivo es energizado cuando las condiciones en modo automático son verdaderas (validación de día, hora de inicio y hora de fin) o cuando el usuario decide activar en modo manual un circuito en particular. Por otro lado, la desactivación de un circuito se da cuando una de las condiciones a validar en el modo automático es falsa o cuando un usuario ingresa al modo manual para desactivar un circuito.

La subrutina que implementa esta función se llama: ACTIVACION_ SALIDAS.

El diagrama de flujo de la subrutina se encuentra en el Anexo 13.7.

En la Figura 3.11. se presenta el diagrama de flujo principal, donde se muestra el orden de ejecución de las subrutinas que implementan las funciones mencionadas anteriormente. Debe mencionarse que sólo el PLC1 ejecuta la subrutina de Sensores pues solo este PLC cuenta con un módulo de entradas. Las subrutinas de: Control, Día, Modo Auto-Modo Manual, Cálculos, Password y Activación de Salidas son ejecutadas por ambos PLC's con la misma lógica de control.

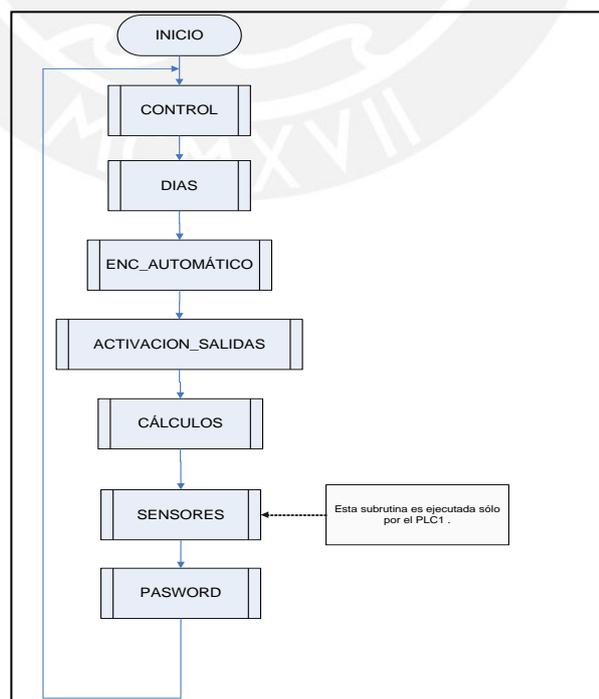


Figura 3.11. Diagrama de Flujo Genérico ejecutado por el PLC1 y PLC2

3.5.6.2 Programación para el Panel View 600

Se han diseñado las pantallas para la interfaz de usuario con la finalidad de satisfacer los requerimientos para el correcto funcionamiento del sistema de automatización en modo automático y modo manual; además de incluir las especificaciones complementarias en el diseño mencionadas en la sección 3.2.2. La creación de pantallas se realiza con el software PanelBuilder32.

3.5.6.2.1 PanelBuilder 32

Este software se utiliza para crear las interfaces con los usuarios. En este programa se deben asignar tags o etiquetas para cada objeto, así como las descripciones principales de los mismos indicando su estado normal por ejemplo: NA (Normalmente abierto) , NC (Normalmente Cerrado), objeto de estado enclavado o momentáneo, entre otras opciones. La descripción de las funciones implementadas en el panel de operador se presenta a continuación.

3.5.6.2.2 Funciones implementadas en el panel de operador

3.5.6.2.2.1 Validación de Contraseña

Esta es la pantalla por defecto. Aquí el usuario debe ingresar su contraseña, siendo habilitadas para el sistema tres contraseñas válidas: la del personal de mantenimiento, personal de las líneas de galletería y personal de las líneas de chocolatería. Al ser ingresada la contraseña el PLC identifica el usuario y envía una señal de control indicando que número de pantalla debe mostrarse. Para el personal de mantenimiento, se presentará un menú cuyas opciones serán descritas posteriormente. En el caso de ser reconocida la contraseña de un personal de las líneas de galletería o chocolatería, el PLC envía la señal de control para mostrar la pantalla de configuración de modo manual para las líneas de producción de galletería o chocolatería respectivamente. Es decir un personal de las líneas de chocolatería podría configurar en modo manual las líneas de chocolate desde un panel ubicado cerca de las líneas de galletería y viceversa. Esta opción permite tener una redundancia en caso falle algún panel de operador. La pantalla diseñada se muestra en la Figura 3.12.



Figura 3.12. Pantalla de Ingreso de Contraseña

3.5.6.2.2.2 Pantalla de Menú para Mantenimiento

En esta pantalla se presentan cinco opciones mostradas en la Figura 3.13 a las que puede acceder el personal de mantenimiento (usuario administrador). Cada opción es habilitada con una tecla del panel de operador la cual se especifica en la pantalla. Las opciones mostradas son objetos del tipo “Go to Screen” es decir, realizan un salto a un pantalla en particular asociada a la opción a la que se desea acceder. La pantalla se muestra en la Figura 3.13.



Figura 3.13. Pantalla de Menú para Usuario Administrador

3.5.6.2.2.3 Pantalla de Modo Automático

Se accede a esta pantalla al presionar la tecla F1 en la Pantalla de Menú de Mantenimiento. En la pantalla se despliega un menú donde el usuario debe indicar que línea de producción desea configurar. Para configurar las líneas de producción de galletería o chocolatería, el usuario debe acceder a esta opción sólo desde el Panel de Operador ubicado en el área que desea configurar, esto evita que se realicen configuraciones para la misma línea desde ambos Paneles de Operador, lo cual podría ocasionar “falsos encendidos” o “falsos apagados”. Una vez seleccionada la opción se realiza un salto a la pantalla asociada para iniciar la configuración de hora de encendido y apagado de los circuitos para un período máximo de 12 días. La pantalla se muestra en la Figura 3.14.

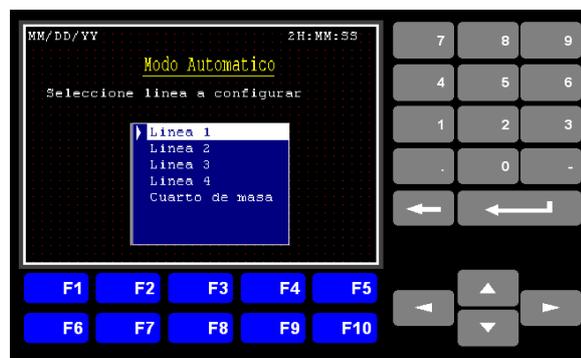


Figura 3.14. Pantalla de Menú Modo Automático

3.5.6.2.2.4 Pantallas de Configuración en Modo Automático

Cada línea de producción cuenta con dos pantallas de configuración en Modo Automático. En la primera pantalla se da opción de configurar hasta siete días y si se desea configurar más días se debe presionar la tecla F3 para ir a la segunda pantalla, esta segunda pantalla da opción para configurar cinco días adicionales. Si en la primera pantalla se presiona la tecla F1 se habilita la opción “Actualizar Fechas”, el usuario deberá actualizar las fechas hasta que estas se encuentren en el rango de días que desea configurar. En la segunda pantalla también se pueden actualizar las fechas con la tecla F1. Cada pantalla maneja esta activación en forma independiente. Por ejemplo, si presiono la tecla F1 de la pantalla 1 se mostrarán los días del 1 al 7 y solo si presiono la tecla F1 de la pantalla 2 se mostrarán los días del 8 al 12; si se vuelve a presionar la tecla F1 en la pantalla 1 se mostrará los días del 13 al 20 y así sucesivamente. Este incremento de días tiene como valor máximo el último día del mes actual y de llegar a este valor se mostrarán los primeros días del siguiente mes.

Al presionar la tecla F2, se guardan los valores de horas de inicio y fin configurados los cuales son utilizados por el PLC correspondiente para activar o desactivar las circuitos de iluminación. Se presenta además en la pantalla un Sub-Menú para poder configurar otra línea de producción o regresar al menú principal. Las pantallas mencionadas se muestran en la Figura 3.15.

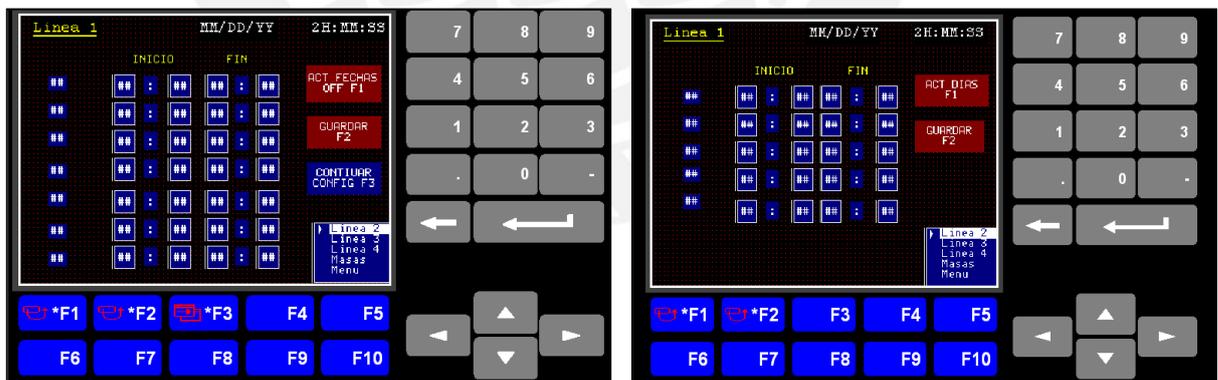


Figura 3.15. Pantalla de Configuración en Menú Modo Automático

3.5.6.2.2.5 Pantallas de Configuración en Modo Manual

Existen dos pantallas para elegir que línea de producción se desea configurar. Si la clave ingresada pertenece al usuario de un personal del área de galletería, se mostrará la pantalla con las opciones de configurar las zonas de: empaque de las líneas 1, 2, 3 y 4 y el área de cuarto de masas. Si por el contrario, la clave pertenece

al usuario de un personal del área de chocolatería, se mostrará la pantalla con las opciones de configurar las zonas de: Línea 5,6,7,8 y zona de bandejas (Ver Figura 3.16). Cuando el usuario selecciona una de las opciones presentadas en la pantalla de configuración, se muestra una pantalla con un gráfico que representa la distribución física de los sectores que conforman la línea o área a configurar, cada sector muestra un display que indica si las luces de esa zona se encuentran encendidas o apagadas con una representación de color verde o rojo respectivamente y además se indica con que tecla del panel se puede cambiar el estado actual de las luces.. Para regresar al menú principal se presiona la tecla F8 como indica en la pantalla de modo manual. (Ver Figura 3.17)

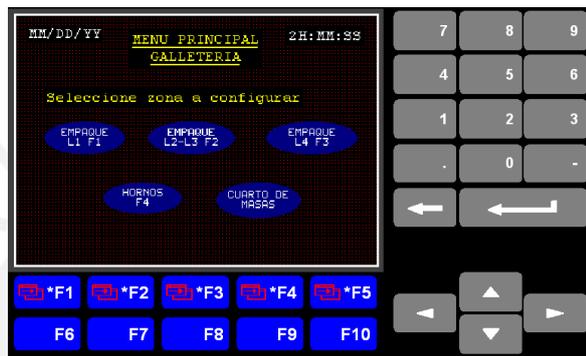


Figura 3.16 Ejemplo de menú a mostrar al ingresar clave del área de galletería

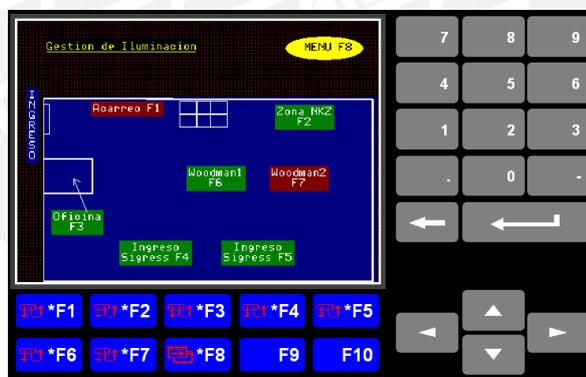


Figura 3.17. Ejemplo de zona a controlar en Modo Manual

3.5.6.2.2.6 Pantalla de Consumo Mensual teórico

Al presionar la tecla F3 en la pantalla de Menú para Mantenimiento, se muestra la pantalla de Consumo Mensual Teórico. En esta pantalla, se muestra el consumo en forma numérica través de un display y en forma gráfica a través de un gráfico de barras de Líneas de Producción Vs. Consumo en Mw/H. Si de presiona la tecla F1 en esta pantalla se regresa al menú para mantenimiento. La pantalla en descripción se muestra en la Figura 3.18.

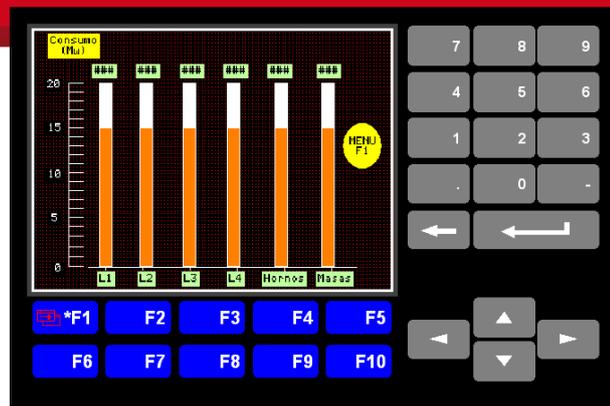


Figura 3.18. Pantalla de Visualización de Consumo de Energía

3.5.6.2.2.7 Pantalla de Consumo Acumulado Teórico

Al presionar la tecla F4 en la pantalla de Menú para Mantenimiento, se muestra la pantalla de Consumo Acumulado Teórico, en esta pantalla se almacenan los consumos acumulados de enero a junio para cada línea de producción. Si se presiona la tecla F1 se regresa al Menú Principal y al presionar F2 se muestra una pantalla con los consumos acumulados de julio a diciembre. Las pantallas descritas se muestran en la Figura 3.19.

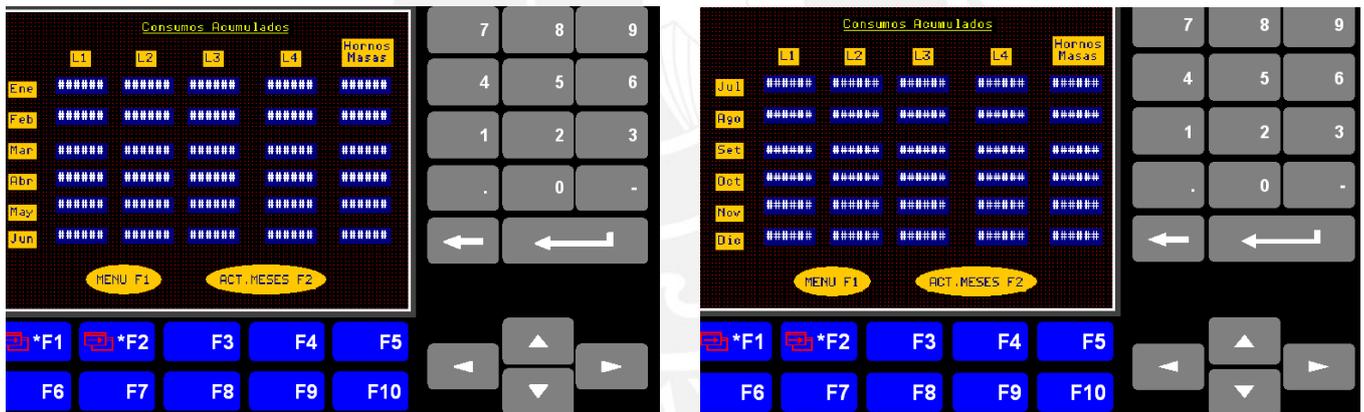


Figura 3.19. Pantalla de Registro de Consumos Acumulados por meses

3.5.6.2.2.8 Pantalla de registro de accesos

Al presionar la tecla F5 en la pantalla de Menú para Mantenimiento, se mostrará una pantalla registro de accesos al sistema donde se considera la hora, día de acceso y el usuario que accedió al sistema. Se ha considerado mostrar por pantalla hasta 25 registros de accesos. Al presionar la tecla F1 se regresa al Menú de Mantenimiento.

CAPITULO 4. PRUEBAS – SIMULACIONES

En esta parte del documento se presentarán las simulaciones que comprueban el correcto funcionamiento así como procesamiento de datos y variables que interactúan en el proceso a controlar en base al programa implementado en Lenguaje Ladder y el diseño de las pantallas creadas en la interfaz hombre-máquina (HMI). Se hace mención que al no tener la disponibilidad de usar los equipos con los que cuenta la planta industrial en estudio, se realizan las pruebas en el laboratorio de Automatización y Control utilizando un PLC del mismo modelo al sugerido para usar en este diseño y la interfaz hombre-máquina (HMI) será reemplazada por una computadora personal donde haciendo uso del software LabView se ha diseñado una pantalla de interfaz de usuario. Para establecer la comunicación entre el PLC y la computadora personal se hace uso del software RsLinx, el mismo que se utiliza para establecer la comunicación entre los equipos considerados en el diseño del sistema de automatización planteado en este tema de tesis.

Debe recalcar que cada símbolo verde que aparece en una variable representa que hay comunicación entre los dispositivos de la red, en este caso la PC y el PLC.

4.1. Simulación de actualización de fechas en el PLC y visualización en interfaz Hombre-Máquina

Primero se mostrará la actualización de fechas en el PLC en los archivos asignados por programa, se muestra además la conversión del formato de Horas:Minutos en un número que representa los minutos totales entre mil. La comunicación llegó a establecerse satisfactoriamente pues las fechas son actualizadas siempre. (Ver figura 4.1 y 4.2). Para esta prueba se comprueba que se realiza la conversión según el formato deseado pues 1.17 es igual a $(19*60 + 35) / 1000$.



Figura 4.1. Actualización de fechas en el PLC y la interfaz HMI

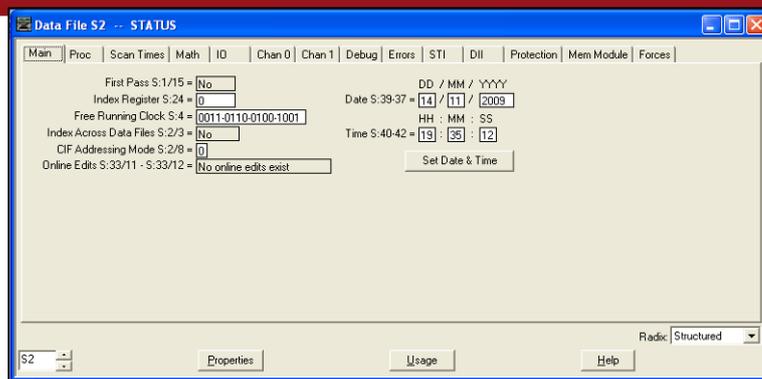


Figura 4.2. Fecha Actual en el PLC

4.2. Simulación de salto a pantalla a mostrar según el tipo de usuario

A continuación se muestra la pantalla donde se ingresa una clave, la cual al ser validada por el PLC envía un archivo de control indicando el número de pantalla que se debe mostrar (Ver Figura 4.3). Se realizó la prueba para los tres tipos de usuario considerados en el sistema: usuario de mantenimiento, usuario de galletería y usuario de chocolatería.



Figura 4.3. Validación de contraseñas por usuario

4.3. Simulación del funcionamiento en Modo Automático

Se realizó la simulación considerando la configuración para dos días en una línea de producción con cuatro circuitos de iluminación. Al activar el interruptor “Actualizar Fechas” se observa que se actualizan los días a configurar. Se ingresaron dos horas de inicio y fin para controlar la hora de encendido y apagado de los circuitos asociados. (Ver Figura 4.4.) . En esta pantalla también se muestra la conversión de la hora de encendido y apagado al activar el interruptor “Guardar Cambios” en un número del tipo punto flotante donde se convierte el formato HORA:MINUTO a una variable que representa dicho formato convertido a minutos entre mil. El número que se muestra es el que corresponde a la conversión de la hora de inicio y fin para el día actual del PLC. Las horas ingresadas para el DIA 2 serán actualizadas al mismo formado cuando el día del PLC sea igual al día asignado al “DIA2”. Se visualiza

además que los cuatro circuitos de iluminación con que cuenta la línea que se configuró se encuentran encendidos ya que la hora del PLC es mayor a la hora configurada para el encendido (INICIO) y menor a la hora de apagado (FIN). Al ser activados los circuitos de esta línea en modo automático, se activan los temporizadores y contadores que acumulan el consumo teórico de las luminarias asociadas.

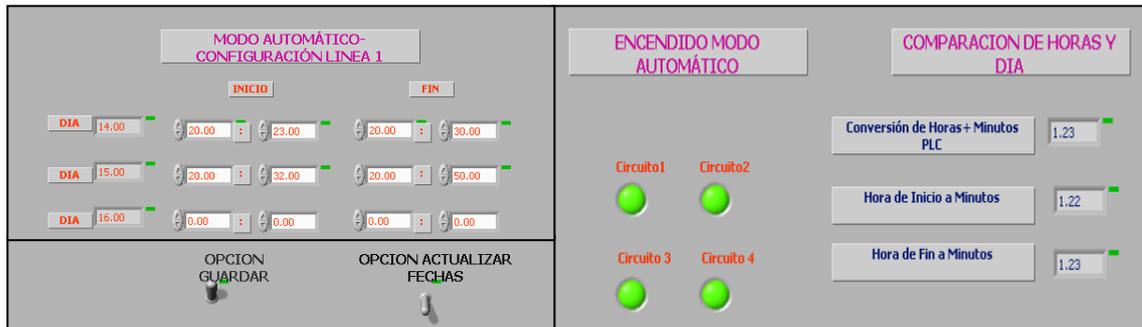


Figura 4.4. Funcionamiento en Modo Automático

Como puede observarse en la Figura 4.4 los cuatro circuitos de la línea de producción se encuentran encendidos pues la hora de PLC está dentro del rango de las horas configuradas para encendido y apagado.

En la Figura 4.5. se observa que los circuitos se apagan ya que la hora del PLC (1.24) es mayor a la hora configurada para apagar los circuitos (1.23).



Figura 4.5. Simulación de Funcionamiento en Modo Automático

Por otro lado, se mencionó que este sistema también permitirá brindar la información y cálculo de consumo a través de temporizadores, contadores y la potencia instalada en cada circuito a controlar. Como se observa en el Figura 4.6. se verifica que los contadores actualizan correctamente el tiempo de consumo. Siendo configurada la hora de inicio a las 8:23 pm y la hora de fin a las 8:30 pm, los siete minutos que permanecieron encendidos los circuitos coinciden en el valor mostrado en los contadores.



Figura 4.6. Actualización de tiempo de consumo por circuito

4.4. Simulación de cálculo de consumo mensual y consumos acumulados

Habiendo comprobado que los temporizadores y contadores actualizan correctamente los tiempos de encendido de los circuitos, se puede tener confiabilidad en que en función al tiempo en que permaneció encendido cada uno de los cuatro circuitos simulados y conociendo el número de luminarias y potencia por circuito se puede obtener el consumo teórico en los circuitos controlados. Se verificará que el valor de consumo acumulado concuerde con la potencia y numero de luminarias instaladas para el ejemplo. Se ha considerado que los circuitos 1, 2 ,3 y 4 tienen 100, 100 , 60 y 60 luminarias instaladas. La potencia por luminaria se ha considerado igual a 88W. Estos valores han sido ingresados en el programa en lenguaje ladder, a continuación se verificará la concordancia del consumo en Kw/h con el valor mostrado en la Figura 4.7.

Potencia consumida en Kw/h = $2 * (100 * 0.088 * 7 / 60) + 2 * (60 * 0.088 * 7 / 60) = 3.272$

Se comprueba que el cálculo es correcto. En la figura también se muestra el display y gráfico de barras para la línea 2, como puede observarse este valor es cero lo cual es correcto ya que no se ha encendido ningún circuito de esa línea.

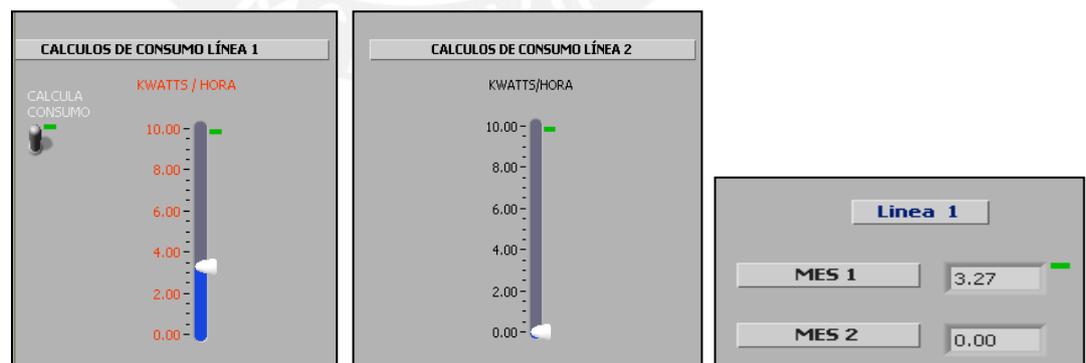


Figura 4.7. Representación de consumo en Kw/h

4.5. Simulación de funcionamiento en Modo Manual

En esta simulación se utilizan cuatro interruptores asignados a los bits configurados por programa para activar o desactivar cada uno de los cuatro circuitos asignados en

la línea a configurar, al ser desactivado alguno de ellos, se desactivan los temporizadores y contadores asociados al cálculo de consumo teórico de dicho circuito. Los valores acumulados de los temporizadores y contadores no se resetean al pasar de modo automático a modo manual pues son componentes retentivos, es decir que mantienen su valor acumulado.

El modo manual ha sido diseñado para activar o desactivar los circuitos de iluminación en situaciones no planeadas, es decir tiempo que no haya sido considerado en la configuración de modo automático.

Para esta simulación, se observa que los 4 circuitos de la línea a configurar se encuentran apagados al ser la hora del PLC mayor a la hora configurada para apagar las luminarias. (Ver Figura 4.8.). Imaginemos que desea realizarse un mantenimiento en una zona en particular, en este momento es que se debe garantizar que el modo manual pueda controlar el sistema de la mejor manera.



Figura 4.8. Verificación de estado de circuitos para activación en Modo Manual

A continuación se verificará el control en modo manual, para ello se emplearán cuatro bits representados por interruptores. Estos bits han sido configurados en el programa para la prueba de igual forma que en el programa implementado para el control manual de iluminación de la planta. En la Figura 4.9. se puede observar el control de los circuitos de iluminación. En la gráfica las cuatro primeras señales representan el estado de los circuitos de iluminación (Circuito 1, Circuito 2, Circuito 3, Circuito 4), los cuales son controlados por los interruptores cuyas gráficas son las cuatro siguientes señales (C1M, C2M, C3M y C4M). Por ejemplo, el interruptor C1M controla la salida C1A.

Se realizó una segunda prueba para verificar el control oportuno en modo manual. (Ver Figura 4.10.)

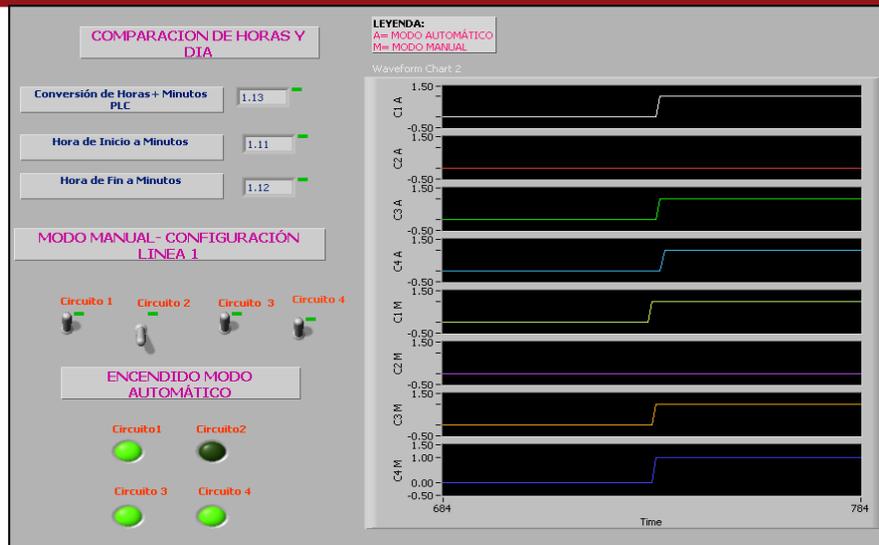


Figura 4.9. Control de los circuitos de iluminación en Modo Manual

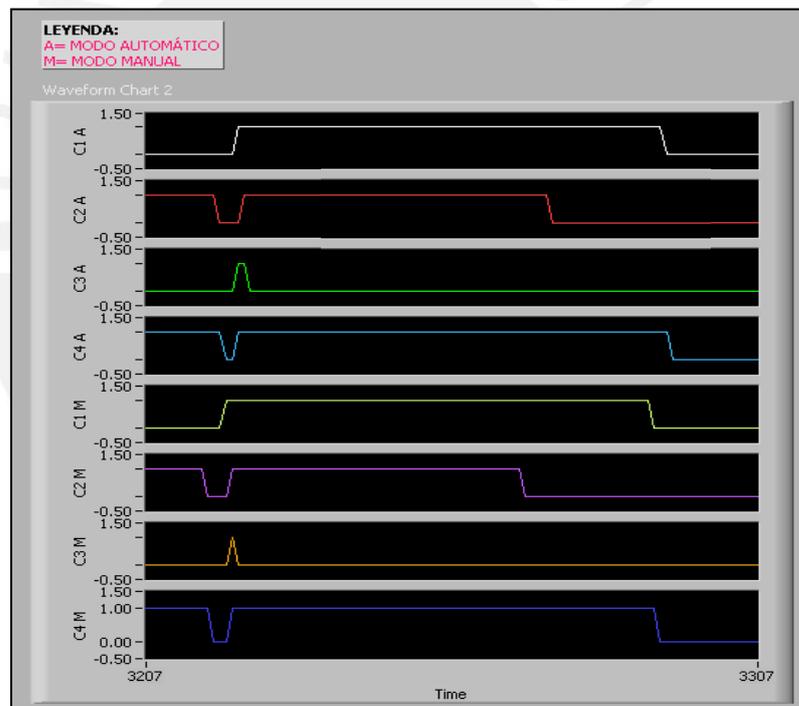


Figura 4.10. Simulación de control en Modo Manual

4.6. Simulación de funcionamiento de sensores

Se realizó la simulación del funcionamiento de los sensores considerando dos interruptores uno que representa el estado del sensor de presencia y otro para el estado del sensor fotoeléctrico. Ambos interruptores son asignados a las entradas configuradas en la subrutina de sensores. En la Figura 4.11. se observa el estado de cada sensor y el circuito que controlan.

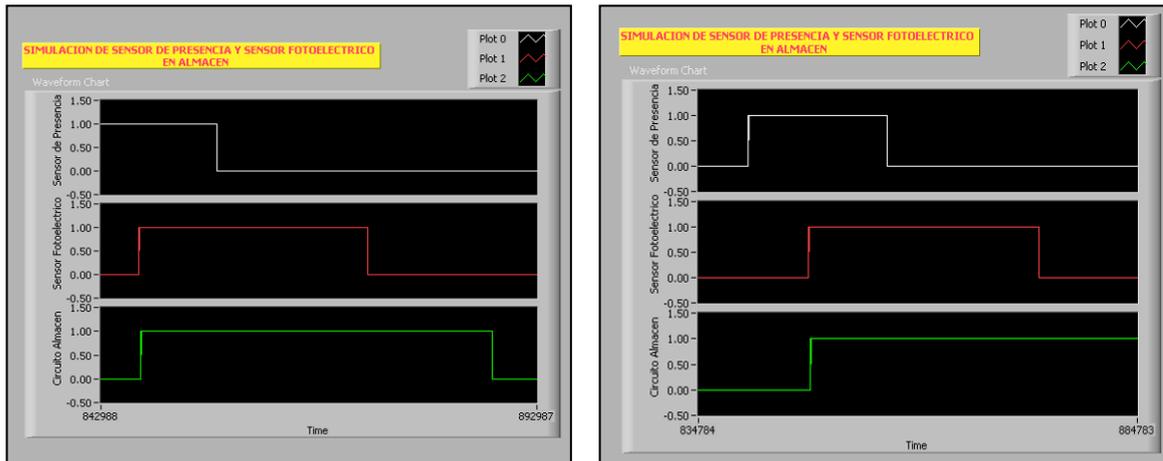


Figura 4.11. Simulación de funcionamiento de sensores

Como se observa en la figura, si el sensor de presencia envía una señal indicando detección y el sensor fotoeléctrico no envía la señal indicando que el nivel de iluminación es insuficiente, entonces la bobina del contactor no es activada. Si por el contrario, el sensor de presencia y el sensor fotoeléctrico envían una señal de presencia y nivel de iluminación insuficiente respectivamente, entonces el circuito es activado, este estado se observa en la forma de onda de color verde la cual representa el estado de encendido o apagado de las luminarias de un circuito. Donde 1= Luminarias encendidas y 0= Luminarias apagadas.

Se comprueba además el funcionamiento del código implementado para evitar “falsas no detecciones de presencia” en caso una persona permanezca quieta dentro del almacén. Como se puede apreciar en la Figura 4.11., si luego de encenderse las luminarias el sensor de presencia no detecta presencia en el almacén, las luminarias permanecerán encendidas por un período de tiempo configurado por programa. Una vez cumplido este tiempo, si el sensor no envía una señal de detección de presencia, las luminarias se apagan.

CAPÍTULO 5. ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DEL PROYECTO

Todo proyecto debe traer algún beneficio para la institución que lo implementará, y en estos días, con mercados tan competitivos e interconectados, el análisis económico de un proyecto cobra cada vez mayor relevancia.

5.1. Criterios

En el estudio de factibilidad se considerarán evaluar tres indicadores: VAN (Valor Actual Neto), TIR (TIR Tasa Interna de Retorno) y el PRI (Período de Recuperación de la inversión).

5.2. Ahorro Projectado con Implementación de Sistema Automático de Iluminación

En la tabla 5.1. se muestra el cuadro resumen con los ahorros de energía (KW-H) y económicos (S/.) posteriores a la implementación del sistema automático de iluminación desarrollado en los capítulos 3 y 4.

Tabla 5.1 Ahorros estimados con la implementación del sistema de control propuesto

| | Consumo Actual | | Consumo con Sistema | | AHORRO MENSUAL | | AHORRO ANUAL | |
|-------------------------|------------------|------------------|---------------------|-----------------|------------------|-----------------|-------------------|------------------|
| | KW-Hora | Soles | KW-Hora | Soles | KW-Hora | Soles | KW-Hora | Soles |
| Empaque L1 | 4,553.47 | 675.96 | 3,631.94 | 539.16 | 921.54 | 136.80 | 11,058.43 | 1,641.62 |
| Empaque L2 | 6,031.87 | 895.43 | 5,385.60 | 799.49 | 646.27 | 95.94 | 7,755.26 | 1,151.27 |
| Empaque L3 | 6,741.50 | 1,000.78 | 6,019.20 | 893.55 | 722.30 | 107.23 | 8,667.65 | 1,286.71 |
| Almacén 1(2do piso) | 4,967.42 | 737.41 | 2,306.30 | 342.37 | 2,661.12 | 395.04 | 31,933.44 | 4,740.52 |
| Aduanas 1 (2do piso) | 1,892.35 | 280.92 | 675.84 | 100.33 | 1,216.51 | 180.59 | 14,598.14 | 2,167.09 |
| Empaque L4 | 6,150.14 | 912.99 | 5,491.20 | 815.17 | 658.94 | 97.82 | 7,907.33 | 1,173.84 |
| Aduanas 2 (3er piso) | 1,892.35 | 280.92 | 675.84 | 100.33 | 1,216.51 | 180.59 | 14,598.14 | 2,167.09 |
| Almacén 2 (2do piso) | 5,263.10 | 781.31 | 1,879.68 | 279.04 | 3,383.42 | 502.27 | 40,601.09 | 6,027.23 |
| Cuarto de Masas | 5,381.38 | 798.87 | 3,075.07 | 456.49 | 2,306.30 | 342.37 | 27,675.65 | 4,108.45 |
| L1 Horno | 2,069.76 | 307.26 | 1,650.88 | 245.07 | 418.88 | 62.18 | 5,026.56 | 746.19 |
| L2 Horno | 1,300.99 | 193.13 | 1,161.60 | 172.44 | 139.39 | 20.69 | 1,672.70 | 248.31 |
| L3 Horno | 1,300.99 | 193.13 | 1,161.60 | 172.44 | 139.39 | 20.69 | 1,672.70 | 248.31 |
| L4 Horno | 650.50 | 96.57 | 580.80 | 86.22 | 69.70 | 10.35 | 836.35 | 124.16 |
| Laminado | 6,720.00 | 997.58 | 4,800.00 | 712.56 | 1,920.00 | 285.02 | 23,040.00 | 3,420.29 |
| Almacén Materias Primas | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Waffer 1 y banadora 2 | 5,128.70 | 761.36 | 3,798.53 | 563.89 | 1,330.18 | 197.46 | 15,962.11 | 2,369.58 |
| Mesanine | 1,892.35 | 280.92 | 1,351.68 | 200.66 | 540.67 | 80.26 | 6,488.06 | 963.15 |
| Waffer 2 y bañadora 3 | 12,311.04 | 1,827.57 | 10,367.36 | 1,539.03 | 1,943.68 | 288.54 | 23,324.16 | 3,462.47 |
| Lavado de bandejas | 3,677.18 | 545.88 | 1,713.92 | 254.43 | 1,963.26 | 291.45 | 23,559.17 | 3,497.36 |
| | 77,925.12 | 11,567.98 | 55,727.04 | 8,272.68 | 22,198.08 | 3,295.30 | 266,376.96 | 39,543.66 |

| | |
|----------------------|------------|
| Ahorro Anual en S/. | 39,543.66 |
| Ahorro Anual en KW-H | 266,376.96 |
| % Ahorro Anual | 28.49% |

El Ahorro anual de 39,544 nuevos soles es el resultado del cálculo de Ahorro estimado considerando las horas de producción semanales por línea de producción

(Ver Anexo 16). Para este cálculo se ha considerado el peor escenario para comprobar que aun teniendo estas consideraciones el proyecto es rentable. Por ejemplo, se ha considerado que todas las líneas de producción trabajan 24 horas de lunes a viernes, 16 horas los sábados y se ha considerado 6 horas de limpieza los días domingos. Sin embargo, de acuerdo al programa de producción semanal, existen semanas donde al menos una línea de producción deja de trabajar durante una semana, no se han considerado los feriados durante el año donde la planta deja de producir; así como los períodos de paradas de planta donde se realizan trabajos de mantenimiento en turnos de 8 horas diarias. Frente a estas consideraciones no tomadas en cuenta, se evaluará la factibilidad del proyecto a través de los tres indicadores mencionados anteriormente.

5.2. Resumen de los costos de inversión

Para realizar el análisis financiero y el impacto económico del Proyecto se utilizarán los valores de cotizaciones de los componentes en que se necesita invertir. El resumen de las mismas se encuentra en el Anexo 15. De este anexo de se obtiene como costo de inversión total el monto de 39,229.20 nuevos soles.

Para este resumen de costos no se está considerando los gastos en equipos como PLC, módulos de entrada y salida y paneles de operador. Esto se debe a que la empresa cuenta con estos equipos y como se mencionó anteriormente, esta propuesta plantea reutilizar los equipos que actualmente no tienen uso para proponer una mejora que contribuya al ahorro de energía eléctrica.

5.3. Flujo de Caja

Para realizar el flujo de caja se ha tomado en consideración los siguientes parámetros:

- ✚ Tiempo de Vida de equipos a adquirir= 10 años
- ✚ Depreciación= Los equipos adquiridos se depreciarán totalmente en 10 años sin valor residual. La tasa de depreciación anual (T) es de 30%
- ✚ Costo de Oportunidad de la empresa (TMAR) = 8%

Resultado de estas consideraciones el flujo de caja se muestra en la Tabla 5.2.

En el flujo de caja se observa el parámetro FCN ACTUALIZADO, este es igual al valor presente de cada uno de los ahorros estimados por año. Se lleva cada valor de St al valor equivalente para el año 0 que significa el momento en que se hace la inversión.

Tabla 5.2. Flujo de Caja del Proyecto (1)

| Concepto | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Sensores de presencia ultrasónicos | 3,033.00 | | | | | | | | | | |
| Detectores de presencia PIR | 388.60 | | | | | | | | | | |
| Fuente modular 220 Vac-7 24 Vdc- 2.5 A . Fuente de salida regulable | 295.92 | | | | | | | | | | |
| CONTACTOR TESYS 9A 1NA+1NC 3/5.5HP 220/440V BOB-220V. 50/60HZ | 4,506.80 | | | | | | | | | | |
| CABLE THW 14 AWG NEGRO | 2,070.00 | | | | | | | | | | |
| Sensor fotoeléctrico de sensibilidad regulable | 138.60 | | | | | | | | | | |
| Tablero eléctrico autosoportado | 1,719.36 | | | | | | | | | | |
| Tablero mural | 2,637.36 | | | | | | | | | | |
| PLACA METÁLICA DE 665X450 MM P/CRN75 Y PLM75 | 559.89 | | | | | | | | | | |
| PLACA METÁLICA DE 1165X750 MM. P/CRN128 | 518.40 | | | | | | | | | | |
| Cable de comunicación Belden #9842 | 890.40 | | | | | | | | | | |
| Cable apantallado 3 hilos para sensores | 1,154.20 | | | | | | | | | | |
| Modulos de Comunicación AIC | 2,446.67 | | | | | | | | | | |
| Canaletas bandejas eléctricas 20x15x240 cm incluye soporteria | 1,800.00 | | | | | | | | | | |
| Tuberia conduit 1 1/4" diámetro | 770.00 | | | | | | | | | | |
| Tuberia conduit 1" diámetro (6m) | 1,000.00 | | | | | | | | | | |
| Servicio de tablerista 2 tableros autosoportados | 2,000.00 | | | | | | | | | | |
| Servicio de tablerista (10 tableros según detalle) | 1,800.00 | | | | | | | | | | |
| Montaje de tableros, tuberías y canaletas | 4,500.00 | | | | | | | | | | |
| Cableado de control | 1,000.00 | | | | | | | | | | |
| Programación y diseño | 5,000.00 | | | | | | | | | | |
| Otros: Borneras | 1,000.00 | | | | | | | | | | |
| Inversión Total | -39,229.20 | | | | | | | | | | |
| Gastos Mantenimiento (E) | | 0.00 | 1,300.00 | 1,300.00 | 1,300.00 | 1,300.00 | 1,300.00 | 1,300.00 | 1,300.00 | 1,300.00 | 1,300.00 |
| Ahorro (I) | | 39,544.00 | 39,544.00 | 39,544.00 | 39,544.00 | 39,544.00 | 39,544.00 | 39,544.00 | 39,544.00 | 39,544.00 | 39,544.00 |
| Ingresos | | | | | | | | | | | |
| I-E | | 39,544.00 | 38,244.00 | 38,244.00 | 38,244.00 | 38,244.00 | 38,244.00 | 38,244.00 | 38,244.00 | 38,244.00 | 38,244.00 |
| (I-E) X (1-T) | | 27,680.80 | 26,770.80 | 26,770.80 | 26,770.80 | 26,770.80 | 26,770.80 | 26,770.80 | 26,770.80 | 26,770.80 | 26,770.80 |
| D x T | | 1,176.88 | 1,176.88 | 1,176.88 | 1,176.88 | 1,176.88 | 1,176.88 | 1,176.88 | 1,176.88 | 1,176.88 | 1,176.88 |
| St | -39,229.20 | 28,857.68 | 27,947.68 | 27,947.68 | 27,947.68 | 27,947.68 | 27,947.68 | 27,947.68 | 27,947.68 | 27,947.68 | 27,947.68 |
| FCN ACTUALIZADO | -39,229.20 | 26,720.07 | 23,960.63 | 22,185.77 | 20,542.38 | 19,020.72 | 17,611.78 | 16,307.20 | 15,099.26 | 13,980.80 | 12,945.18 |
| VPN | 149,144.57 | | | | | | | | | | |

(1) Montos en Soles

5.4. VALOR ACTUAL NETO (VAN)

Para obtener el valor actual neto se suman todos los flujos de caja netos actualizados (FCN ACTUALIZADO) como se muestra en la Figura 5.1. El VAN es el valor monetario que resulta de restar la suma de los flujos descontados a la inversión inicial. Compara todos los ingresos y egresos esperados del proyecto en un solo momento del tiempo. El proyecto debe ser aprobado solo si el VAN es mayor a 0. Finalmente el valor de VAN se muestra en la Tabla 5.3.

$$VAN = -I_0 + \sum \frac{S_t}{(1+i)^t}$$

Figura 5.1. Fórmula Valor Actual Neto (VAN)

Tabla 5.3. Valor Actual Neto (VAN)

| PRI | FCN Acumulado |
|------------|-------------------|
| AÑO 0 | -39,229.20 |
| AÑO 1 | -12,509.13 |
| AÑO 2 | 11,451.49 |
| AÑO 3 | 33,637.26 |
| AÑO 4 | 54,179.64 |
| AÑO 5 | 73,200.36 |
| AÑO 6 | 90,812.13 |
| AÑO 7 | 107,119.33 |
| AÑO 8 | 122,218.59 |
| AÑO 9 | 136,199.39 |
| AÑO 10 | 149,144.57 |
| VAN | 143,222.05 |

El Valor Actual Neto es mayor que cero lo cual significa que el monto a invertir es menor al ahorro estimado en el período de vida del proyecto. Este es un primer indicador para no descartar invertir en este proyecto.

5.5. PERÍODO DE RETORNO DE INVERSIÓN (PRI)

El período de retorno de inversión se obtiene de la gráfica de los FCN (Flujo de caja neto) acumulados para cada período como se muestra en la Figura 5.2. El PRI es el momento en que la recta se interseca con el eje X.

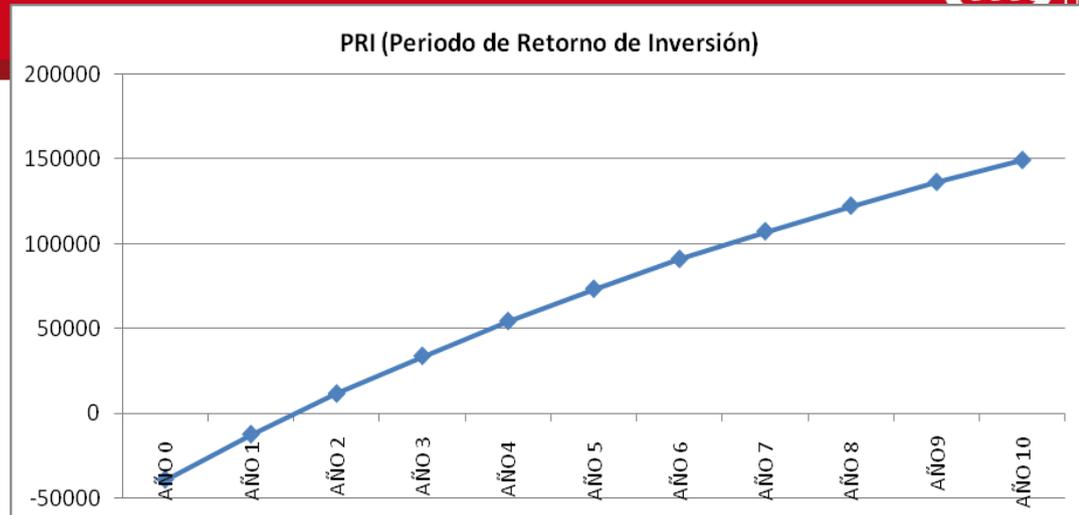


Figura 5.2. Gráfico para calcular el PRI

Del gráfico anterior se puede observar que el Período de Recuperación de Inversión es de aproximadamente 1 año, lo cual hace un proyecto atractivo para la empresa pues se han llegado a implementar proyectos que tienen un PRI de 3 años.

5.6. TASA INTERNA DE RETORNO (TIR)

Finalmente, como última revisión se obtiene la Tasa Interna de Retorno igualando el VAN a cero. Ésta es la tasa de interés que hace el Valor Actual Neto igual a cero. El TIR es un índice de rentabilidad que busca determinar hasta cuánto podría el inversionista aumentar la TMAR (Tasa Mínima Atractiva de Retorno) para que el proyecto siga siendo aceptado

$$VAN = -I_0 + \sum \frac{S_t}{(1+TIR)^t} = 0$$

Figura 5.3. Fórmula Tasa Interna de Retorno (TIR)

Resolviendo se obtiene la Tasa Interna de Retorno de 67.54% anual, por lo que el Proyecto es claramente rentable. Estos resultados superan algunas expectativas previas a la formulación de este proyecto. Con el ahorro a consecuencia de la implementación de este proyecto se optimiza el uso de energía eléctrica lo cual implica una reducción de costos para la empresa, haciéndola más competitiva en el mercado. Así mismo, otro gran beneficio es la disminución del impacto ambiental por ahorro de energía.

CONCLUSIONES

1.-La propuesta de implementar un sistema de automatización que controle la iluminación de la planta en estudio es el punto de partida para la solución integral que permita optimizar al máximo los consumos en este sistema. Como siguiente paso se sugirió en el capítulo 2 el reemplazo de fluorescentes existentes por fluorescentes con leds con lo cual se lograría un ahorro de hasta 90%.

2.-El ensayo de controlar las luces en forma manual con el apoyo de los electricistas del área de mantenimiento permitió sustentar que existe posibilidad de reducir los consumos de energía eléctrica en el sistema de iluminación al menos en 24%.

2.-Los sensores han sido elegidos considerando la disposición física de las zonas a controlar. Se realizaron las medidas de las áreas y en base a ello se determinó la cantidad de sensores necesarios. La distribución de los sensores en las zonas a controlar se encuentra en el Anexo 4.

2.-Los actuadores fueron elegidos según el tipo de conexión de los sistemas de iluminación en la planta en estudio, el cual es un sistema trifásico balanceado en conexión Delta.

3.-Se diseñó el programa en lenguaje Ladder para controlar la secuencia de encendido de los contactores de fuerza de los circuitos de iluminación en función a los períodos de producción, la señal de sensores en las zonas de almacenes y aduanas; así como a través del modo manual para aquellos eventos que no estén planificados.

4.-Se verificó el correcto procesamiento de señales y variables del programa implementado en los controladores mediante la interacción del mismo con un usuario a través LabView con lo cual se demuestra la flexibilidad y escalabilidad del sistema diseñado ya que puede ser controlado desde paneles de operador o desde computadoras personales que cuenten con un software de supervisión.

5.-La red de comunicación se ha diseñado de tal forma que se permita que un terminal remoto o computador personal se conecte en línea desde cualquier nodo de la red y así poder verificar el procesamiento del código implementado en cada PLC así como su interacción con cada Panel de Operador. De esta forma se pueden

detectar errores antes que un PLC entre a modo de falla o puede diagnosticarse la causa de la falla de forma más rápida sin necesidad de deshabilitar la red de comunicación.

6.-Se han diseñado pantallas “ocultas” considerando que existe la posibilidad que falle alguna interfaz HMI. Las pantallas ocultas permiten el acceso de un personal del área de galletería al Panel de Operador ubicado en la zona de chocolatería y viceversa. Este acceso es solo para ingresar al sistema en modo manual y previa validación de una contraseña.

7.-Al realizar el estudio de factibilidad del proyecto se encontró que los tres indicadores de evaluación reflejan que este proyecto es rentable para la empresa, pues no se requiere un capital de inversión elevado y el tiempo de retorno de inversión es a mediano-corto plazo.

8.-La investigación realizada en la planta permitió encontrar que en una zona como el almacén de materias primas era más atinado optar por aprovechar la luz natural con el fin de optimizar los consumos. Los usuarios asumieron esta solución como válida y colocaron planchas de policarbonato en el perímetro y parte frontal del almacén. Esta actitud refleja una disposición del personal por adoptar una política de ahorro de energía que permitirá desarrollar una cultura hacia la eficiencia energética y próximas inversiones orientadas a este fin.

RECOMENDACIONES

- 1.-El sistema de automatización propuesto es escalable, es decir que permite la interacción con otras soluciones que complementen u optimicen los ahorros proyectados en torno al uso eficiente de la energía eléctrica. En este sentido los próximos pasos serían el control de aire acondicionado, aire comprimido, así como el control de iluminación en las áreas de oficinas.
- 2.- Se recomienda conectar un transformador de aislamiento en la toma de alimentación de los PLC's y Paneles de Operador como protección ante problemas de fallas a tierra. De esta forma se protege el chasis y pérdidas humanas ante una fuga a tierra.
- 3.- Como complementación al diseño planteado, podrían instalarse alarmas en las zonas controladas para avisar que las lámparas están por apagarse 15 minutos antes de la acción. Con esto se informa al usuario del evento que ocurrirá y se le da opción a que pueda modificar los tiempos programados si lo requiere.
- 4.- Un paso posterior a la implementación de este sistema es reemplazar los equipos de iluminación por fluorescentes con leds. Si bien el costo es el principal inconveniente se sugiere ir reemplazando las luminarias poco a poco considerando el impacto en función a la carga instalada por sectores.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] MINISTERIO DE ENERGIA Y MINAS
 2008 *Elaboración de Proyectos de Guías de Orientación del Uso Eficiente de la Energía y de Diagnóstico Energético*, Mayo
 Editorial: Ministerio de Energía y Minas -Perú
- [2] GUIA DE AHORRO ENERGÉTICO EN INSTALACIONES INDUSTRIALES
 2006 Capítulo 1: *Eficiencia Energética. Índice de eficiencia*
 Editorial: Dirección Nacional de Industria, Energía y Minas -Madrid
- [3] GUIA DE AHORRO ENERGÉTICO EN INSTALACIONES INDUSTRIALES
 2006 Capítulo 2: *Medidas para la eficiencia energética*
 Editorial: Dirección Nacional de Industria, Energía y Minas -Madrid
- [4] ILUMINACIÓN INDUSTRIAL
 2009 Philips Lighting
- [5] FUNDAMENTOS DE LA LUZ Y LA ILUMINACIÓN
 2009 Revista N° 30. Philips Lighting
- [6] GUIA DE AHORRO ENERGÉTICO EN INSTALACIONES INDUSTRIALES
 2006 Capítulo 3: *Ahorro de Energía Eléctrica en Alumbrado*
 Editorial: Dirección Nacional de Industria, Energía y Minas -Madrid
- [7] SICA, ELECTRÓNICA DE VANGUARDIA
 2009 *Sistemas Modernos de Control*. Página Digital, Argentina, 2003
 Consulta: 24de abril del 2009
 <<http://www.paginadigital.com.ar/articulos/2003/2003quint/tecnologia/sic16pl.asp>>
- [8] BTICINO
 2009 *Productos y Soluciones en ahorro de energía*
 Consulta: 24de abril del 2009
 <<http://www.bticino.com.mx/productos.asp?lonidcategoria=41>>
- [9] ASSAF, Leonardo
 2002 *Sistemas Innovadores de Iluminación*
 Consulta: 24de abril del 2009
 < <http://www.edutecne.utn.edu.ar/eli-iluminacion/cap07.pdf>>
- [10] NATIONAL INSTRUMENTS
 2007 *PAC combina la robustez del PLC y la funcionalidad de la PC*
 Consulta: 24de abril del 2009
 < <http://zone.ni.com/devzone/cda/tut/p/id/5947>>
- [11] EL MUNDO DE LAS LÁMPARAS
 Consultado: 05 de abril del 2009
 <<http://www.silix.es/Fluorescentes.htm>>
- [12] OSRAM, XVI CONGRESO INTERNACIONAL AMBIENTAL
 2008 *Iluminación Industrial*
 Consulta: 4 de junio del 2009
 <<http://www.conae.gob.mx/work/sites/CONAE/resources/LocalContent/6419/14/IluminacionV2OSRAM.pdf>>
- [13] UNIVERSIDAD DEL PAÍS VASCO, Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática
 2007 *Introducción a las Redes de Comunicaciones Industriales*
 Consulta: 20 de mayo del 2009

- [14] DCM SYSTEMES
2009 *Comparativa ente LED, Halógenos y Fluorescentes*
Consultado: 20 de abril del 2009
<http://www.dcmsistemas.com/comparativa_led.html>
- [15] ECJ TECHNOLOGY S.A.
Curso de Capacitación en Programación de Controladores Lógico Programables Allen Bradley
- [16] DCM SYSTEMES
2009 LEDs: VENTAJAS
Consultado: 20 de abril del 2009
<http://www.dcmsistemas.com/comparativa_led.html>
- [17] ILUMINATING ENGINEERING SOCIETY OF NORTH AMERICA
1987 Capítulo 2. Illuminance Categories and Values , Lighting Handbook – Application Volume
- [18] CEPER PIRELLI
2009 Instalaciones en baja tensión: catálogo de conductores eléctricos
TABLA IV- Capacidad de corriente en cables unipolares, bipolares y tripolares
TABLA V- Capacidad de corriente de cables THW
TABLA VI- Factores de corrección para temperatura ambiente diferente a 30°C
TABLA VII- Factores de corrección para agrupamiento de cables en tubos
TABLA IX - Caídas de tensión
TABLA X- Instalaciones en tubo de cables TW y THW