



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

**DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN DEL DESARROLLO DE SISTEMA SCADA
COMO HERRAMIENTA EN LA AUTOMATIZACIÓN DEL MANTENIMIENTO
APLICABLE A SISTEMAS DE EJECUCIÓN DE MANUFACTURA
MITSUBISHI**

Claudio Giovanni Morales Pérez
Asesorado por el MSc. Ing. José Luis Ola García

Guatemala, junio de 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN DEL DESARROLLO DE SISTEMA SCADA
COMO HERRAMIENTA EN LA AUTOMATIZACIÓN DEL MANTENIMIENTO
APLICABLE A SISTEMAS DE EJECUCIÓN DE MANUFACTURA
MITSUBISHI**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

CLAUDIO GIOVANNI MORALES PÉREZ
ASESORADO POR EL MSC. ING. JOSÉ LUIS OLA GARCÍA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO ELECTRICISTA

GUATEMALA, JUNIO DE 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL I	
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Narda Lucía Pacay Barrientos
VOCAL V	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. José Guillermo Bedoya Barrios
EXAMINADOR	Ing. Armando Gálvez Castillo
EXAMINADOR	Ing. Julio Rolando Barrios Archila
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN DEL DESARROLLO DE SISTEMA SCADA
COMO HERRAMIENTA EN LA AUTOMATIZACIÓN DEL MANTENIMIENTO
APLICABLE A SISTEMAS DE EJECUCIÓN DE MANUFACTURA
MITSUBISHI**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrado, con fecha 10 de noviembre de 2014.



Claudio Giovanni Morales Pérez



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala



000084

Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería
Teléfono 2418-9142 / Ext. 86226

AGS-MIMPP-0001-2014

Guatemala, 06 de abril de 2015.

Director
Guillermo Antonio Puente Romero
Escuela de Ingeniería Eléctrica
Presente.

Estimado Director:

Reciba un atento y cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado. El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado los cursos aprobados del primer año y el Diseño de Investigación del estudiante **Claudio Giovanni Morales Pérez** con carné número **2007-14732**, quien opto la modalidad del **“PROCESO DE GRADUACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA OPCIÓN ESTUDIOS DE POSTGRADO”**. Previo a culminar sus estudios en la **Maestría de Ingeniería en Mantenimiento**.

Y si habiendo cumplido y aprobado con los requisitos establecidos en el normativo de este Proceso de Graduación en el Punto 6.2, aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería en el Punto Decimo, Inciso 10.2, del Acta 28-2011 de fecha 19 de septiembre de 2011, firmo y sello la presente para el trámite correspondiente de graduación de Pregrado.

Sin otro particular, atentamente,

“Id y enseñad a todos”

MSc. Ing. José Luis Ola García
Asesor (a)

MSc. Ing. César Augusto Akú Castillo
Coordinador de Área
Gestión y Servicios

César Akú Castillo MSc.
INGENIERO INDUSTRIAL
COLEGIADO No. 4,073

M.A. José Luis Ola García
Ingeniero Electricista & MBA
Experto en Energías Renovables
Colegiado 6,349

MSc. Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
Director
Escuela de Estudios de Postgrado



Cc: archivo
/la



REF. EIME 88.2015.

Guatemala, 6 de junio 2015.

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el visto Bueno del Revisor y la aprobación del Área de Lingüística de su Proyecto de Graduación en la modalidad Estudios de Pregrado y Postgrado titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DEL DESARROLLO DE SISTEMA SCADA COMO HERRAMIENTA EN LA AUTOMATIZACIÓN DEL MANTENIMIENTO APLICABLE A SISTEMAS DE EJECUCIÓN DE MANUFACTURA MITSUBISHI**, presentado por el estudiante universitario **Claudio Giovanni Morales Pérez**, considerando que el protocolo es viable para realizar el Diseño de Investigación procedo aprobarlo, ya que cumple con los requisitos establecidos por la Facultad de ingeniería.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. Guillermo Antonio Puente Romero
Director
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica





DTG. 256.2015

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE LA INVESTIGACION DEL DESARROLLO DE SISTEMA SCADA COMO HERRAMIENTA EN LA AUTOMATIZACIÓN DEL MANTENIMIENTO APLICABLE A SISTEMAS DE EJECUCIÓN DE MANUFACTURA MITSUBISHI**, presentado por el estudiante universitario: **Claudio Giovanni Morales Pérez**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Ing. Angel Roberto Sic García
Decano

Guatemala, 11 de junio de 2015



/gdech

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Mi padre, gracias por permitirme llegar a este punto de mi vida y compartirlo con mis seres queridos.
- Mis padres** Claudio Morales y Ana de Morales, por su apoyo, paciencia, amor incondicional y esfuerzo en todo momento. Gracias por enseñarme a confiar en Dios y mostrarme la importancia del esfuerzo para alcanzar mis metas.
- Mis hermanos** Ervin y Daniel Morales, por ser mi apoyo incondicional y por la paciencia brindada.
- Mis familiares** Abuela, tíos, tías y primas por el apoyo, consejos y buenos deseos en el transcurso de mi formación.
- Mis amigos** Familias Miranda, Menéndez, Palencia, Tobar y Prado, por ser una importante influencia en mi carrera, por el tiempo compartido y por el apoyo brindado.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por proveer los medios para mi formación académica.
Facultad de Ingeniería	Por servir de influencia para mi formación académica.
Mi asesor	MSc. Ing. José Luis Ola García, por brindarme su valioso tiempo, apoyo y conocimiento en la elaboración del presente trabajo de graduación.
Mis amigos	Por ser de importante influencia, compartir esfuerzos y tiempo en el transcurso de nuestra formación académica.
Mis catedráticos	Por compartir sus conocimientos para desarrollar mi formación académica.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN.....	XI
OBJETIVOS.....	XIII
Hipótesis	XIV
JUSTIFICACIÓN.....	XVII
INTRODUCCIÓN.....	XIX
1. ANTECEDENTES	1
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	5
2.1. Pregunta general.....	6
2.2. Preguntas específicas	6
3. ALCANCES.....	9
4. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL.....	11
4.1. Mantenimiento.....	11
4.1.1. Mantenimiento preventivo.....	11
4.1.2. Mantenimiento predictivo.....	12
4.2. Automatización del mantenimiento.....	13
4.2.1. Indicadores del mantenimiento.....	14
4.2.2. Mantenibilidad.....	14
4.2.3. Confiabilidad del mantenimiento.....	15

4.2.4.	Mantenimiento basado en confiabilidad (RCM).....	16
4.2.5.	Coste global del mantenimiento	16
4.3.	Automatización industrial	16
4.3.1.	Adquisición de datos	17
4.3.2.	Sistema de Supervisión Control y Adquisición de Datos (SCADA)	17
4.3.3.	Controlador Lógico Programable (PLC)	18
4.3.4.	Interfaz hombre-máquina (HMI)	19
4.3.5.	Sensor	20
4.3.6.	Transductor	20
4.4.	Sistemas de control y monitoreo de proceso	21
4.4.1.	Métodos de programación utilizados en equipos Mitsubishi	21
4.5.	Presentación de la herramienta	21
5.	ÍNDICE GENERAL.....	23
6.	MÉTODOS Y TÉCNICAS	27
6.1.	Metodología utilizada para el desarrollo de la herramienta en la automatización del mantenimiento	27
6.1.1.	Primera fase	28
6.1.2.	Segunda fase	28
6.1.3.	Tercera fase	29
6.1.4.	Cuarta fase.....	29
6.1.5.	Quinta fase	29
6.1.6.	Sexta fase	30
7.	OBTENCIÓN DE DATOS	31

8.	ANÁLISIS FINAL	33
8.1.	Análisis de datos	33
9.	CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES	35
10.	RECURSOS NECESARIOS.....	39
10.1.	SCADA de INDUSOFT	39
10.2.	Servidor del sistema SCADA.....	39
10.3.	GX-Works	39
10.4.	GT-Designer	40
10.5.	HMI	40
10.6.	PLC	40
10.7.	Materiales varios	41
	CONCLUSIONES	45
	RECOMENDACIONES	47
	BIBLIOGRAFÍA.....	49
	APÉNDICES	53
	ANEXOS	55

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

TABLAS

I.	Cronograma	35
II.	Gastos por servicio.....	41
III.	Gastos anual total por servicios	42
IV.	Costos de sistema.....	42
V.	Costo anual total <i>versus</i> inversión	43

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
Bps	Bits por segundo
Hz	Hertz
M	Mega
%	Por ciento

GLOSARIO

A/D	Convertidor de señales análogas a digitales.
D/A	Convertidor de señales digitales a análogas.
HMI	Interfaz hombre máquina.
KPI	Indicador clave de desempeño.
Ladder	Lenguaje de programación escalera.
PLC	Controlador lógico programable.
SCADA	Software para ordenadores que permite la supervisión, el control y la adquisición de datos.
SFC	Lenguaje de programación diagrama de flujo secuencial.

RESUMEN

Los sistemas SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) son software diseñados para ordenadores. Los SCADA permiten supervisar, controlar y adquirir datos en tiempo real por medio de equipos de campo que interactúan con procesos de ejecución de manufactura.

El trabajo tiene como enfoque principal presentar la propuesta para desarrollar un sistema que pueda servir como herramienta del mantenimiento y que pueda ser aplicado a sistemas de ejecución de manufactura con equipos de campo Mitsubishi.

El desarrollo del trabajo se enfoca en la línea de investigación de automatización de procesos industriales, Controladores Lógicos Programables (PLC) y control de variables.

Basado en los principios, de la automatización de sistemas de ejecución de manufactura y en la automatización del mantenimiento, se propone una herramienta que de la pauta a supervisar, controlar y almacenar variables útiles en la automatización del mantenimiento por medio de un software SCADA.

El propósito de la herramienta es monitorear, controlar y adquirir los datos, para conseguir un sistema automatizado del mantenimiento, permitiendo obtener sus indicadores clave y avisos en tiempo real, para lograr un sistema del mantenimiento eficiente y controlado, con registros de respaldo almacenados en una base de datos.

OBJETIVOS

General

Desarrollar un sistema de supervisión control y adquisición de datos (SCADA), como herramienta en la automatización del mantenimiento, aplicable a sistemas de ejecución de manufactura Mitsubishi, para optimizar el control y monitoreo de variables con software y hardware.

Específicos

1. Aplicar métodos de programación para desarrollar e interpretar las variables, avisos e indicadores operacionales del mantenimiento, para el sistema automatizado en un entorno gráfico, a tiempo real y a determinada frecuencia.
2. Crear una base de datos en el servidor SCADA para el almacenamiento de las variables útiles en la administración y automatización del mantenimiento.
3. Determinar las variables a supervisar, controlar, visualizar y almacenar en la base de datos del sistema SCADA, para ser utilizados como herramienta en la automatización del mantenimiento y deberán ser aplicables a la automatización del mantenimiento.

4. Ampliar el sistema de ejecución de manufactura, enfocándolo a la adquisición y monitoreo de variables útiles a la automatización del mantenimiento.

Hipótesis

Los SCADA pueden adquirir y almacenar datos utilizando equipos de campo y protocolos de comunicación, desde sistemas de ejecución de manufactura que utilizan PLC Mitsubishi. Por lo cual el SCADA de INDUSOFT puede adquirir información instantánea de los datos útiles a la automatización del mantenimiento, así los datos pueden ser visualizados en forma de indicadores (gráficos y numéricos) y pueden ser almacenados en una base de datos históricos, de la herramienta de automatización en el mantenimiento.

- Variables independientes:
 - Velocidad de transmisión del protocolo de comunicación 10 a 100 Mbps.

- Variables dependientes:
 - Frecuencia de monitoreo en las variables.
 - Resolución de los sensores en la lectura de las variables.
 - Exactitud de los sensores en la lectura de las variables.
 - Precisión de los sensores en la lectura de las variables.
 - Capacidad de la base de datos y cantidad de variables a monitorear.

- Indicadores:
 - Tiempos (entre fallas, de mantenimiento, tiempos muertos, tiempos de disponibilidad, entre otros).
 - Disponibilidades
 - Eficiencia
 - Velocidades

JUSTIFICACIÓN

La utilidad del trabajo de investigación tiene carácter metodológico y práctico. La primera, metodológica, debido a que esta investigación utilizará software que pueden desarrollarse en investigaciones futuras. Práctica, debido a la herramienta que puede revelar problemas, según la interpretación de las variables almacenadas en la base de datos, pues muestra indicadores como disponibilidad de equipos, tiempos de fallas, entre otras. Por lo tanto, se pretende dar un enfoque diferente al sistema de adquisición de datos, ampliándolo a la automatización del mantenimiento.

El tema desarrollado como el trabajo de investigación de la maestría en Ingeniería del Mantenimiento se enfoca a la línea de investigación de automatización de procesos industriales, PLC y control de variables.

La investigación se desarrollará para determinar la utilidad y los beneficios de implementar sistemas SCADA como herramienta a la automatización del mantenimiento, para beneficiar el desarrollo del sector industrial que esté interesado en la eficiencia de plantas de producción, específicamente en los sistemas de ejecución de manufactura. Debido a los continuos avances de la tecnología en la industria se requiere la investigación continua sobre sistemas de control y monitoreo, por lo que la investigación se presta para seguirla desarrollándola en futuras investigaciones.

El trabajo de investigación se llevará a cabo desarrollando una herramienta que permita supervisar, controlar y almacenar variables en un sistema de ejecución de manufactura referentes a la automatización del

mantenimiento. La herramienta utilizará un servidor en el cual se desarrollará y direccionará la base de datos del sistema, permitiendo visualizar los indicadores del sistema automatizado todos enfocados a la automatización del mantenimiento. Cada equipo de campo (PLC) será programado para realizar el monitoreo en tiempo real y transmitir la información al servidor haciendo uso de protocolos de comunicación.

La herramienta permite el monitoreo y adquisición de datos en tiempo real y a frecuencia requerida, según la exigencia del proceso sin intervención humana. Además aporta aplicaciones dedicadas directamente a la automatización del mantenimiento. El aporte a corto plazo radica en el monitoreo en tiempo real del comportamiento del sistema, a mediano y a largo plazo permitirá tener registros y tendencias del comportamiento del sistema y permitirá tener los datos que aplican a la automatización del mantenimiento.

Con la herramienta a desarrollar en la investigación se pretende determinar la capacidad del SCADA para obtener los datos en tiempo real, aprobando el control periódico en el mantenimiento y estableciendo una base de datos útil para la automatización en el mantenimiento sin la intervención humana.

INTRODUCCIÓN

Los sistemas SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) son software desarrollados para computadoras tienen gran importancia y utilidad en el control y adquisición de datos a distancia y tienen la capacidad de adquirir, controlar y monitorear datos en diversidad de equipos de campo, en tiempo real. Los SCADA controlan y adquieren datos obtenidos por equipos de campo tal como los Controladores Lógicos Programables (PLC), que por lo general son utilizados en aplicaciones industriales, en muchos sistemas de ejecución de manufactura, aunque también pueden ser utilizados en sistemas residenciales como edificaciones, donde se requiere el control y adquisición de variables tales como consumo de agua, consumo de energía eléctrica, control y monitoreo de temperaturas en líquidos, control de presiones de fluidos, control para niveles de líquidos, activación de sistemas de iluminación, entre muchas otras.

La necesidad de obtener registros confiables, monitoreo con una periodicidad constante un número de variables elevado, con un sistema de operación, búsqueda de registros amigable y confiable, todo centralizado en una computadora, hace necesario implementar una herramienta en la automatización del mantenimiento de sistemas de ejecución de manufactura.

En el trabajo de investigación “Desarrollo de sistema SCADA como herramienta en la automatización del mantenimiento aplicable a sistemas de ejecución de manufactura Mitsubishi” se pretende que el SCADA se encargue de obtener datos monitoreados en tiempo real, como en el prototipo desarrollado por Veera, Kusumah, & Ganapathy (2012), en donde su prototipo de SCADA adquiere y controla varias aplicaciones industriales utilizando mensajería

extensible, siendo un ejemplo claro que los software SCADA son una herramienta útil en la industria y que evolucionan con el tiempo para desarrollar mejoras y proporcionar el control sobre la eficiencia en los sistemas de ejecución de manufactura.

El desarrollo del presente trabajo busca automatizar el mantenimiento utilizando el software desarrollado por INDUSOFT (Indusoft web studio), el cual será instalado en una computadora con un sistema operativo Microsoft Windows. La computadora será utilizada para realizar la programación y lógica del SCADA, posteriormente será utilizada como una interfaz gráfica, base de datos de los indicadores y variables útiles a la automatización del mantenimiento. Los equipos de campo utilizados serán PLC estando encargados de monitorear y controlar las variables del sistema de ejecución de manufactura dando la pauta a indicadores para realizar mantenimiento con cierta periodicidad en función de múltiples variables.

El presente trabajo de investigación consistirá en desarrollar un sistema que pueda adquirir, monitorear y controlar datos en sistemas de ejecución de manufactura, tales como: voltajes, frecuencias, corrientes, velocidades, temperaturas, presiones, tiempos, entre otras. Los parámetros serán monitoreados de sistemas estáticos entre los cuales se encuentra un sistema de control de ejes MR-MQ170, utilizado para el corte de metales, madera, papel, entre otras. El segundo sistema que será utilizado es el de dosificación por medio de sistemas de bombeo proporcionales, controlados por variadores de frecuencia D700. El tercer sistema que será monitoreado es el de las bandas de transporte de productos utilizando servo drive MR-J3-S.

Lo que se pretende es desarrollar un sistema que sea capaz de monitorear, controlar y almacenar los datos de cada proceso para utilizarlos como parámetros

en la automatización del mantenimiento. El sistema a desarrollar tendrá la capacidad de hacer el análisis de cada parámetro útil en tiempo real graficando su comportamiento útil en la automatización del mantenimiento.

La información será obtenida por medio del sistema de adquisición y control de datos SCADA desarrollado por INDUSOFT, el cual está diseñado como herramienta para la automatización. SCADA será desarrollado utilizando métodos de programación y los datos monitoreados serán almacenados en un servidor. Para ello se hará uso de una red Ethernet que permita la transferencia de datos entre equipos.

Los datos obtenidos se intentan enfocar para desarrollar una herramienta útil a la automatización del mantenimiento, dando la posibilidad de obtener valores cuantitativos tales como: confiabilidad del mantenimiento, tiempos de fallas, rendimientos de los sistemas, eficiencias, entre otros indicadores. El sistema deberá ser capaz de llevar el control de los tiempos de mantenimiento, con el propósito de dar señales que indiquen el momento en el cual el sistema requiere de mantenimiento. Para obtener los valores de los indicadores se utilizarán las variables obtenidas por el SCADA, aplicándolas a ecuaciones establecidas para desarrollar su cálculo automáticamente.

El propósito de monitorear, controlar y adquirir los datos es tener un sistema automatizado del mantenimiento. Esto para permitir indicadores y avisos en tiempo real, logrando un sistema del mantenimiento eficiente y controlado, con registros de respaldo.

Descripción de capítulos:

El primer capítulo consistirá en la descripción de los conceptos básicos utilizados en la automatización del mantenimiento.

El segundo capítulo presentará las características del sistema SCADA enfocado al software de INDUSOFT.

El tercer capítulo describirá la creación de la base del sistema SCADA como herramienta en la automatización del mantenimiento.

El cuarto capítulo presentará el desarrollo de los lenguajes de programación utilizados, que se implementarán en el sistema SCADA como herramienta en la automatización del mantenimiento en los equipos de campo.

El quinto capítulo contendrá los resultados obtenidos en el desarrollo de la herramienta y la expectativa implementada en un sistema de ejecución de manufactura de la industria guatemalteca.

Por último, se describirán las conclusiones, recomendaciones, bibliografía y anexos de la investigación.

El desarrollo del estudio se dividirá en 4 fases, de la siguiente forma:

La primera fase documental se centra en la recopilación, organización y filtrado de información general de la investigación.

La segunda fase documentará las variables que sean útiles a la automatización en el mantenimiento y establecerá la forma gráfica y numérica en que se pueden presentar en el SCADA y la base de datos.

La tercera fase se enfoca en aplicar conocimientos de programación para desarrollar el entorno gráfico del SCADA. El objetivo es crear direccionamientos para visualizar, procesar y almacenar los datos que sean enviados desde el sistema de ejecución de manufactura.

La cuarta fase se basa en el desarrollo de programación aplicando e interrelacionando las variables para la obtención de los indicadores que pueden ser útiles en la automatización del mantenimiento. Con ello el sistema de adquisición de datos, sistema de ejecución de manufactura y variables del mantenimiento se podrán monitorear fácilmente.

La quinta fase presenta la herramienta como automatización del mantenimiento, realizando las pruebas de adquisición y control de los datos.

1. ANTECEDENTES

Los sistemas SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) son herramientas que pueden ser utilizados en diversidad de aplicaciones. Este puede ser aplicado a procesos de ejecución de manufactura donde se encuentren involucrados equipos de campo, como en el trabajo realizado por (Fernández, 2007), donde desarrolla la investigación “Propuesta de formulación de una metodología de gerencia de proyecto para Sistemas SCADA en el sector de energías alternativas”. Dicha investigación toma un enfoque para metodologías de gerencia, siendo una perspectiva distinta a la convencional y se da en los sistemas SCADA. Los sistemas son utilizados en la industria para adquirir y controlar datos enfocados al control y adquisición de datos como registros de la operación. La investigación se enfoca en la implementación de un sistema SCADA, el cual, será desarrollado para controlar, adquirir, y visualizar variables centralizadas en equipos de campo, tales como PLC, es allí donde los datos, adquiridos en tiempo real, serán procesados para utilizarlos como herramienta en la automatización del mantenimiento.

Las necesidades de controlar los equipos a estudiar hacen necesario implementar los avances de la tecnología. Los sistemas de relevación son descartados con mayor frecuencia y toman auge los controladores lógicos programables, como ejemplo de las aplicaciones de automatización industrial utilizando los avances de la tecnología. Vera et al. (2012) desarrolló una investigación denominada “Service Oriented Framework for Industrial Automation Systems” donde expone que los sistemas automatizados han sufrido un veloz cambio, por lo que se plantea un prototipo para el monitoreo y adquisición de datos en tiempo real, utilizando un sistema SCADA, con el objetivo de controlar

varias aplicaciones en la industria de forma interactiva. El veloz cambio que sufre la automatización obliga a la industria a actualizarse, para desarrollar sistemas capaces de cumplir con las exigencias de producción.

Al desarrollar una herramienta en la automatización del mantenimiento aplicado a la industria se obtiene una actualización a los avances de la tecnología para mejorar, hacer eficiente, controlar y reducir costos en los procesos de manufactura. Maldonado, Tarantino, Aranguren & Peñazola (2009) en su investigación "Ingeniería de automatización para el proceso de humectación de la arcilla en las industrias del norte de Santander-Colombia" proponen un control sobre la cantidad adecuada de agua para producir arcilla, con un grado de humectación requerido, utilizando un proceso denominado Proporcional Integral (PI). Dicho proceso es comúnmente usado en la industria donde se controlan presiones o bien dosificaciones que dependen de la retroalimentación de un transductor. Para desarrollar un sistema PI puede hacerse uso de equipos como variadores de frecuencia Mitsubishi, los cuales pueden ser programados para controlar la cantidad de agua, en el proceso de humectación, haciendo el proceso eficiente, consistente y confiable. Otra forma de desarrollar un sistema de humectación con equipos Mitsubishi es haciendo uso de un controlador lógico programable, en el cual se puede desarrollar un programa para control Proporcional Integral. Esto daría la pauta de colocar las variables del equipo de campo, en un sistema SCADA que será encargado de controlar las variables del proceso de humectación de la arcilla, como propone Maldonado et al. (2009), en su investigación.

Los sistemas de automatización ofrecen mejoras continuamente, siendo ejemplo de ello, (Lledó, 2007) en su investigación sobre la automatización de una planta industrial, analiza de forma breve la automatización en el transcurso del tiempo y establece que "Como punto de partida se puede definir

automatización como un conjunto de técnicas asociadas con la aplicación de sistemas de tipo mecánico/electrónico y basado en ordenadores, cuyo objetivo es la operación y control de la producción”. Al llevar la información de los sistemas mecánico/eléctricos, por medio de equipos de campo (PLC) a un ordenador, los sistemas pueden ser analizados según su comportamiento y determinar causas de los niveles de eficiencia. Es aquí donde el software de un sistema SCADA toma su papel y ayuda en el desarrollo de la automatización del mantenimiento.

En la industria, los sistemas de ejecución de manufactura y la consistencia de los productos son un factor importante que se ve beneficiado al implementar sistemas de automatización y sistemas SCADA, donde pueden obtenerse datos cuantitativos en la variación de los productos. En su investigación Lledó (2007) refiere entre las ventajas de la automatización “Aumento de la productividad y consistencia en los productos (Stone, et al-1996)”, “La automatización genera una estabilidad y robustez en el sistema”, “Las tecnologías de automatización no presentan fallos”, “Mejorar las condiciones de trabajo del personal, incrementando la seguridad”, “Realizar las operaciones imposibles físicamente para el operador humano”. Las anteriores se relacionan con el tema de la presente investigación debido a que son factores que se pretenden obtener como beneficio en la implementación de un sistema SCADA como herramienta del mantenimiento, dando la pauta a sistemas de ejecución de manufactura estables controlando el mantenimiento.

El sistema SCADA, como herramienta en la automatización del mantenimiento, puede integrar diversidad de líneas de producción, tomando la información de cada equipo de campo y centralizándola en un ordenador, por lo que el sistema puede ser integrado como expone Cruz. Zaragoza & Zuñiga (2009), en una investigación sobre la aplicación de automatización en sistemas de ejecución de manufactura y utilizando automatización por computadora,

propone utilizar una línea estándar para la calidad en la integración de islas de dos líneas de producción. Cruz et. Al. Expone que “Estas implementaciones de automatización han logrado mejores eficiencias locales pero han perdido de vista su contexto más amplio dentro de una organización”. En su investigación propone un prototipo con una buena aplicación en la integración de software aplicado a la manufactura.

La continuidad en la operación de una planta de manufactura está directamente relacionado con el funcionamiento de cada uno de los elementos que la integran y su mantenimiento, por lo que (Castellano, 2009), realizó la propuesta para optimizar el mantenimiento. Él utilizó el análisis para determinar la confiabilidad, mantenibilidad, disponibilidad, costos de mantenimiento, mantenimiento centrado en confiabilidad, entre otras. El desarrollo de SCADA, entonces, pretende hacer uso de las variables monitoreadas para realizar el análisis expuesto por (Castellano, 2009) de forma automática, obteniendo registros cuantitativos de los parámetros útiles a la automatización del mantenimiento.

En Guatemala diversidad de empresas integradoras que representan marcas de productos de automatización industrial desarrollan sistemas de control de manufactura. Proelectric, S. A. es una empresa guatemalteca integradora que representa la marca Mitsubishi Electric Automation, desarrollando proyectos para la industria principalmente relacionados con la gestión de energía. “Fue fundada en septiembre de 2008 por tres ingenieros industriales con amplia experiencia en el medio. Su alta capacidad, responsabilidad y servicio especializado han provocado que diversas empresas multinacionales, como Mitsubishi, les otorguen la representación de sus productos en el país” (Proelectric, 2015).

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La necesidad de implementar sistemas de control y adquisición de datos radica en la necesidad de tener el control sobre los procesos de ejecución de manufactura. Un ejemplo de ello son las empresas que producen en grandes cantidades, con lo cual el control de los equipos y de la producción tiende a ser difícil o bien requiere de muchas personas, lo cual incurre en gastos. Algunos de los ejemplos sobre el control de los procesos son: los sistemas de corte de materiales por control de ejes, sistemas de transporte de productos finales y sistemas de bombeo para dosificación. Silva Idrovo, N. P. (2014) hace referencia a la necesidad de implementar un sistema de adquisición y control de datos debido a los requerimientos de optimizar y facilitar operaciones de la planta industrial ecuatoriana de aluminios Cedal S. A.

Los sistemas SCADA son software diseñados para monitorear y controlar variables y la necesidad de implementar un sistema de control y adquisición de datos crece, con el crecimiento de una empresa. En algunos procesos, como el proceso de generación de energía, los SCADA son sistemas indispensables para el control y adquisición de datos. El factor velocidad de comunicación de los equipos es indispensable, los actuadores deben activarse instantáneamente, esta capacidad la tienen los sistemas SCADA para el control de un proceso.

El sistema SCADA, debido a su capacidad de almacenar los datos en un ordenador, da la pauta a obtener estadísticas, beneficiando a una industria desde el mantenimiento hasta la producción. Una de las ventajas de un sistema SCADA es que depende únicamente de una inversión inicial, mientras que al no disponer

de un sistema SCADA se incurre en las industrias a tener personas que se encarguen de llevar el control de forma manual en el proceso de producción.

La ausencia de control y monitoreo de variables en sistemas de ejecución de manufactura, afecta y dificulta el establecimiento o determinación de los comportamientos en los sistemas de proceso. Por ello surgen las siguientes preguntas:

2.1. Pregunta general

¿Es posible que pueda un sistema de adquisición de datos, servir como herramienta en la automatización del mantenimiento para un sistema de ejecución de manufactura?

2.2. Preguntas específicas

1. ¿Es posible aplicar métodos de programación para: desarrollar e interpretar variables, avisos e indicadores operacionales del mantenimiento, para un sistema automatizado en un entorno gráfico, a tiempo real y a determinada frecuencia?
2. ¿Puede ser creada una base de datos en un servidor SCADA que de la pauta al almacenamiento de las variables útiles en la administración y automatización del mantenimiento?
3. ¿Pueden determinarse variables para que sean supervisadas, controladas, visualizadas y almacenadas en una base de datos, como herramienta de la automatización del mantenimiento por medio de un servidor SCADA?

4. ¿Es posible ampliar el sistema de ejecución de manufactura para ser enfocado a la adquisición y monitoreo de variables que den pauta a la automatización del mantenimiento?

3. ALCANCES

Dentro de la investigación exploratoria y descriptiva, con el fin de desarrollar una herramienta para la automatización en el mantenimiento, que permitirá obtener señales de tipo analógicas y digitales de un sistema de manufactura, desarrollando la programación Ladder o SFC para PLC y programación gráfica para un SCADA y HMI accediendo a la manipulación, visualización e interpretación de cada variable obtenida del sistema en tiempo real. Las variables tales como tiempos, disponibilidades, eficiencias, temperaturas, velocidades, presiones, entre otras.

Con la investigación se pretende establecer cada una de las variables que pueden ser útiles a la automatización del mantenimiento. SCADA aplicará los sistemas de ejecución de manufactura estáticos, en el control de ejes MR-MQ170, el cual es utilizado para el corte de metales, madera, papel, entre otras. El segundo sistema que será utilizado es el de dosificación por medio de sistemas de bombeo proporcionales, controlados por variadores de frecuencia D700. El tercer sistema que será monitoreado es el de las bandas de transporte de productos utilizando servo drive MR-J3-S, determinando la influencia que tiene el SCADA y su base de datos en la automatización del mantenimiento.

Los datos analizados en los sistemas estáticos utilizan equipos de campo PLC y serán encargados de recibir las señales analógicas y digitales por medio de sensores. Las señales analógicas serán ingresadas a un módulo convertidor de analógico a digital (A/D), para que puedan ser interpretadas por los PLC y transformadas a valores en formatos decimales, binarios y hexadecimales. El análisis se realizará en la ciudad de Guatemala, colonia El Rosario, zona 3 de

Mixco. Se establecerá comunicación entre los equipos, por medio de protocolos de comunicación, a los cuales tienen acceso los equipos Mitsubishi. El tiempo estipulado para tomar las muestras es de 5 semanas.

Las señales obtenidas por los PLC serán colocadas en sus memorias, manipulándolas para obtener de forma inmediata su interpretación y estableciéndolas como variables y KPI útiles a la automatización en el mantenimiento.

Los equipos serán anclados a un protocolo de comunicación parametrizando y configurando cada uno de los equipos. Los mismos se encontrarán intercomunicados por medio de una red de comunicación.

El sistema SCADA será programado para monitorear, manipular, visualizar y almacenar los datos que se encuentran en las memorias de los PLC en tiempo real. Se desarrollará una base de datos en el servidor SCADA para el almacenamiento de cada una de las variables del sistema monitoreado, permitiendo establecer un dato histórico de valores en cada variable y cada indicador.

Las interfaces hombre-máquina serán programadas para visualizar parámetros e indicadores de la automatización en el mantenimiento, tales como requerimiento KPI, avisos de mantenimiento y alarmas.

4. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

4.1. Mantenimiento

En su investigación Castellano (2009) define que:

“...se puede definir como el conjunto de actividades que se realizan a un sistema, equipo o componente para asegurar que continúe desempeñando las funciones deseadas dentro de un contexto operacional determinado. Su objetivo primordial es preservar la función, las buenas condiciones de operabilidad, optimizar el rendimiento y aumentar el período de vida útil de los activos, procurando una inversión optima de recursos”. (p. 21)

A partir de los criterios formulados por los autores, citados en relación al concepto del mantenimiento, puede definirse como un conjunto de acciones útiles para conservar o reestablecer equipos y sistemas. El objetivo del mantenimiento es elevar la confiabilidad de los equipos, en un sistema, con los costos más bajos aceptables. Sin un sistema de mantenimiento adecuado, los equipos tienden a deteriorarse produciendo su falla. El mantenimiento puede ser dividido en preventivo, predictivo, correctivo y basado en condición.

4.1.1. Mantenimiento preventivo

Castellano (2009) refiere que:

“...se puede definir como el conjunto de acciones destinadas a la preservación del equipo en buen estado, independientemente de la aparición de

falla en el mismo y de su condición actual. En el mantenimiento preventivo el equipo es reparado, aun cuando no haya fallado. Es un mantenimiento programado, realizado en forma periódica después de cierto tiempo de funcionamiento del equipo”. (p. 21-22)

A partir de los criterios formulados por el autor citado, el mantenimiento preventivo es aquel que se enfoca en utilizar métodos para estimar el momento en el cual la falla puede ocurrir y adelantarse. Para ello se aplican las acciones que eviten el paro de los equipos o sistemas. Los métodos utilizados para desarrollar el mantenimiento preventivo puede ser analizando datos estadísticos o desarrollado con base en la experiencia, entre otros.

4.1.2. Mantenimiento predictivo

Castellano (2009) define el mantenimiento predictivo de la siguiente forma:

“Este tipo de mantenimiento engloba todas las actividades que permiten conocer o detectar fallas mecánicas u operacionales de los equipos en su fase inicial, mediante análisis realizados con equipos especiales. Las fallas son detectadas sin necesidad de detener el funcionamiento de los equipos. Este tipo de mantenimiento representa el concepto de mantenimiento más “reciente”, es también llamado mantenimiento en condición. Se basa en la certeza de que las máquinas antes de fallar en forma catastrófica quedando la máquina inutilizable, generalmente presentan síntomas previos de falla. Con el mantenimiento predictivo, se predice la falla a través de un diagnóstico basándose en síntomas característicos, realizándose la reparación únicamente cuando la condición de la máquina se ha alterado hasta un cierto punto determinado previamente. La validez de este sistema está sustentada en la calidad de la información disponible

para la determinación de la condición real de la máquina mientras está funcionando”. (p. 22-23)

Con base en la referencia citada se define que el mantenimiento predictivo es el tipo de mantenimiento con costos más elevados, debido que, para llevarlo a cabo se incurre en equipos de medición pudiendo determinar estados de los equipos. Es el mantenimiento que debe ser aplicado a los equipos críticos de un sistema, para garantizar su correcta operación.

4.2. Automatización del mantenimiento

Cárcel (2012) expone que:

“El reciclaje del personal de mantenimiento, especialmente en ámbitos fabriles de elevada automatización y con tecnologías avanzadas, parece un factor crítico de la eficiencia en las actuaciones de mantenimiento. Si se desconocen los nuevos sistemas y técnicas que salen al mercado, las nuevas tecnologías que surgen para optimizar procesos, etc., resulta prácticamente imposible llevar a cabo una buena planificación, así como, un óptimo mantenimiento”. (p. 8)

Con base en la referencia citada, la automatización del mantenimiento se enfoca en utilizar nuevas tecnologías, es decir, herramientas que permitan hacer medibles los parámetros del mantenimiento, permitiendo determinar la confiabilidad de los equipos y tomar acciones para obtener una mejora continua en la gestión del mantenimiento.

Debido a la necesidad de hacer efectivo el mantenimiento en los sistemas de ejecución de manufactura, es necesario automatizar el mantenimiento,

utilizando métodos para la obtención de sus variables, con el fin de obtener parámetros cuantificables de los resultados del mantenimiento. Al obtener datos cuantificables de los parámetros útiles al mantenimiento, pueden efectuarse acciones basados en criticidad, para aumentar la confiabilidad de los equipos y sistemas.

4.2.1. Indicadores del mantenimiento

Galar, Berges, Lambán, & Tormos (2014) hacen referencia a indicadores del mantenimiento de la siguiente forma:

“La medición del rendimiento en la función mantenimiento ha dado lugar a grandes baterías de indicadores que por su extensión y disparidad en criterios y objetivos han sido agrupados en diferentes bloques en los últimos tiempos, destacando el conjunto de indicadores financieros. Para generar éstos indicadores de manera adecuada es necesario disponer de datos de entrada precisos”. (p.102)

Con base a la cita referida, se expone que los indicadores del mantenimiento son parámetros que hacen referencia a las condiciones y comportamientos del mantenimiento. Con base en los indicadores se pueden establecer causas y mejoras en el mantenimiento, lo que tiene como objetivo determinar las fortalezas y debilidades de un sistema de mantenimiento.

4.2.2. Mantenibilidad

En su investigación Castellano (2009) define mantenibilidad como sigue:

“En el mismo orden de ideas, se define como la probabilidad de que un componente o equipo pueda ser restaurado a una condición operacional satisfactoria dentro de un período de tiempo dado, cuando su mantenimiento es realizado de acuerdo a procedimientos preestablecidos. Mantenibilidad es, entonces, la función de eficiencia que mide la capacidad de un componente o equipo de cambiar de un estado inoperante a un estado de operación satisfactorio. La buena mantenibilidad es una función de varios factores, los cuales se pueden agrupar en operacionales y de diseño”. (p. 26)

4.2.3. Confiabilidad del mantenimiento

En su estudio Castellano (2009) hace referencia a la confiabilidad de la siguiente forma: “Se puede definir como la capacidad de un producto de realizar su función de la manera prevista. De otra forma, la confiabilidad se puede definir también como la probabilidad en que un producto realizará su función prevista sin incidentes por un período de tiempo especificado y bajo condiciones indicadas”. (p. 25)

Tomando como base la referencia citada se define a la confiabilidad del mantenimiento como el conjunto de actividades que se deben llevar a cabo para que los equipos o sistemas utilizados en la industria puedan funcionar sin falla, como mínimo durante el tiempo establecido por el fabricante. La confiabilidad de los equipos debe ser alta para lograr el objetivo del mantenimiento. Es importante analizar la confiabilidad de los equipos a lo largo de su vida útil pasando por el diseño, funcionamiento, mantenimiento y reemplazo.

4.2.4. Mantenimiento basado en confiabilidad (RCM)

Por sus siglas en inglés (Reliability Centered Maintenance). Moubray (2004) se refiere al mantenimiento basado en confiabilidad de la siguiente forma:

“...se llama Mantenimiento centrado en la Confiabilidad porque reconoce que el mantenimiento no puede hacer más que asegurar que los elementos físicos continúan consiguiendo su capacidad incorporada confiabilidad inherente” (p. 8).

4.2.5. Coste global del mantenimiento

En su investigación Galar, Berges, Lambán, & Tormos (2014) definen que:

“Se define el coste global de mantenimiento como el valor que recoge el resultado económico de la gestión total del mantenimiento de una empresa. Una máquina, instalación, sección, planta o fábrica, que tenga un elevado coste, significa que su gestión de mantenimiento no es buena. Por el contrario, si el coste es bajo, se está ante una buena gestión de mantenimiento siempre y cuando estas premisas presupongan la consecución de la eficacia demandada por la planta”. (p. 103)

4.3. Automatización industrial

En su investigación Lledó (2007) expone que: “Como punto de partida se puede definir automatización como un conjunto de técnicas asociadas con la aplicación de sistemas de tipo mecánico/electrónico y basado en ordenadores, cuyo objetivo es la operación y control de la producción”. (p. 16)

Terán et al. (2009), en su investigación establece la importancia del desarrollo de las tecnologías a nivel industrial como sigue: “A partir del desarrollo de las tecnologías de información y comunicación (TIC), el área de la automatización es, en la actualidad, un campo fundamental para el crecimiento industrial. Por esta razón, resulta primordial la realización de estudios de prospectiva tecnológica para orientar los cambios a realizar en las plataformas que soportan la automatización industrial”. (p. 57)

4.3.1. Adquisición de datos

En el 2007, Fernández define que: “Es el proceso de recolectar los datos desde un sistema bien sea por medios manuales o automáticos, con la finalidad de operar, supervisar, mantener, contabilizar producción y emitir reportes”. (p. 40)

4.3.2. Sistema de Supervisión Control y Adquisición de Datos (SCADA)

Terán et al. (2009) define los sistemas SCADA por sus siglas en inglés (Supervisory Control and Data Acquisition).

Fernández (2007) refiere que: los SCADA son sistemas que permiten monitorear en tiempo real variables y equipos de campo, haciéndolo de modo local o bien de modo remoto. Ejemplo del uso de un sistema SCADA, es el sector eléctrico, los sistemas SCADA ocupan un lugar de suma importancia para el control de la transmisión, distribución y generación de energía eléctrica en tiempo real.

Fernández (2007) en su investigación refiere que un sistema SCADA para un caso particular puede estar constituido por:

- Estación maestra
- Controladores de campo
- Los protocolos de comunicación
- Las redes de campo

Según Fernández (2007) algunas de las funcionalidades características del sistema SCADA son:

- La generación de reportes
- El almacenamiento de datos
- El manejo de alarmas
- El manejo de despliegues textuales o gráficos
- La ejecución de acciones de control
- Proporcionar diferentes niveles de acceso
- Captura de datos en tiempo real

Fernández (2007) refiere que algunos de los beneficios que se tienen al utilizar un sistema SCADA:

- Son sistemas confiables y robustos.
- Optimiza los recursos de producción y operación.
- Aumento de producción.
- Puede optimizar los recursos utilizados para el mantenimiento.
- Contribuye a la coordinación del área de mantenimiento.
- Proporciona datos que pueden ser utilizados para un caso de estudio, análisis o estadística.

4.3.3. Controlador Lógico Programable (PLC)

En su estudio Lledó (2007) hace referencia a los PLC de la siguiente forma:

“La automatización de una planta industrial es una tarea muy compleja que requiere tener en cuenta una gran cantidad de elementos. El nivel más bajo de entradas y salidas se encarga de suministrar la información a los PLC’S (Programmable logic controller), para poder ejecutar las instrucciones de los programas. Los PLC’s forman parte de un nivel superior que se llama nivel de campo, según lo expuesto en las investigaciones de [Ros, R., et al 2003]. El objetivo principal de los PLC’s se centra en activar el conjunto de válvulas, actuadores neumáticos etc. necesarios para poder realizar las acciones que se indican en el programa”. (p. 99)

Con base en la referencia citada se establece que los PLC’s como equipos de campo, diseñados para controlar actuadores, tienen la bondad de ser programados según los requerimientos del sistema en el cual son instalados. Por lo general están constituidos por entradas y salidas, las cuales pueden ser de tipo análogo o digital, también los hay para funcionar en sistemas de corriente continua y corriente alterna.

4.3.4. Interfaz hombre-máquina (HMI)

(Díaz, Rozo, & García, 2009) Por sus siglas Interfaz Hombre-Máquina. (p. 65)

Son pantallas, las cuales se encuentran comunicadas a los controladores lógicos programables o dispositivos de campo, para hacer variar sus valores y monitorearlos en un mismo dispositivo.

4.3.5. Sensor

En su investigación Lledó (2007) hace referencia a los diferentes tipos de sensores que son utilizados en la industria, entre los cuales se encuentran:

Sensores de velocidad: entre los tipos de sensores más utilizados para la detección de velocidad se utilizan los taco-generadores, que permiten medir velocidades de ejes o articulaciones por medio de la conversión de una energía mecánica en energía eléctrica.

Sensores de fuerza: son los tipos de sensores utilizados con mayor frecuencia para aplicaciones de robótica donde se necesita determinar la fuerza con la que puede ser sujetado un objeto; para la aplicación los sensores utilizados pueden ser del tipo piezoeléctrico.

Sensores de luz: permiten detectar la presencia de luz por medio de células fotoeléctricas.

Sensores neumáticos: son el tipo de sensores utilizados para la detección de desplazamiento y proximidad, utilizando unidades de aire comprimido para evitar depender del contacto entre dispositivos.

Sensores táctiles: son el tipo de sensores que detectan la presión que un dedo puede ejercer sobre una superficie táctil.

4.3.6. Transductor

En su investigación Lledó (2007) refiere que es el dispositivo que se encuentra expuesto de forma física para convertirla a una señal eléctrica.

4.4. Sistemas de control y monitoreo de proceso

En su investigación Lobo (2012) define que los procesos industriales pueden ser monitoreados utilizando elementos de medición primarios y finales de control, los cuales necesitan una alimentación eléctrica para poder operar, lo cual se establece como un nivel físico.

Es necesario utilizar estrategias automáticas para los controles de proceso a lo cual se le denomina nivel de control. El ser humano interviene en un nivel de supervisión como medio de control y por último se establece el nivel de gestión que es donde se administra la base de datos directamente del proceso o los datos que son útiles a la gerencia del proceso.

4.4.1. Métodos de programación utilizados en equipos Mitsubishi

Los diferentes métodos de programación tienen como objetivo proporcionar herramientas para facilitar y adecuar los equipos a sus requerimientos.

Los equipos Mitsubishi utilizados en la automatización siempre deben ser ajustados o programados según los requerimientos de los sistemas en los cuales serán implementados. Los métodos de programación comúnmente utilizados son: el método de programación escalera, el método de programación gráfica y en algunos casos el método de programación por comandos.

4.5. Presentación de la herramienta

La herramienta del mantenimiento, propuesta en este documento, permite adquirir, monitorear y almacenar los datos en tiempo real 24 horas al día, los 7

días de la semana, pudiendo generar alarmas para evitar daños a equipos, personas o producción.

El sistema pretende proveer una herramienta para la automatización del mantenimiento que interactúa instantáneamente con el sistema de ejecución de manufactura sin necesidad de la intervención humana.

La herramienta para la automatización del mantenimiento a desarrollar, pretende demostrar la bondad en el monitoreo, visualización y almacenamiento de datos que son aplicables en automatización del mantenimiento. Los equipos que podrán ser monitoreados únicamente deberán contar con una señal de salida análoga, digital o de un protocolo de comunicación, la cual podrá ser interpretada por los PLC y de no contar con ninguna de estas señales de salida, podrá colocarse un sensor acorde al requerimiento de la aplicación.

5. ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN.....	XI
OBJETIVOS.....	XIII
Hipótesis	XIV
JUSTIFICACIÓN.....	XVII
INTRODUCCIÓN.....	XIX
1. CONCEPTOS BÁSICOS EN LA AUTOMATIZACIÓN DEL MANTENIMIENTO.....	1
1.1 Mantenimiento.....	1
1.1.1 Mantenimiento a la falla.....	1
1.1.2 Mantenimiento planificado.....	1
1.1.3 Mantenimiento preventivo.....	1
1.1.4 Mantenimiento basado en condición.....	1
1.2 Automatización del mantenimiento.....	1
1.2.1 Indicadores del mantenimiento.....	1
1.2.2 Confiabilidad del mantenimiento.....	1
1.2.3 Perfil de riesgo en el mantenimiento.....	1
1.2.4 Análisis de modo y efecto de fallas FMEA.....	1
1.2.5 Diagrama de paretos	1
1.2.6 Rutinas de mantenimiento preventivo PMR	1
1.2.7 Tiempo promedio entre fallas MTBF.....	1
1.2.8 Tiempo medio de parada MTTR.....	1

1.2.9	Logro del plan.....	1
1.3	Automatización industrial.....	1
1.3.1	Sistema de ejecución de manufactura.....	1
1.3.2	Sistema de adquisición de datos SCADA.....	1
1.3.3	Controladores lógicos programables PLC.....	1
1.3.4	Interfaz hombre máquina HMI.....	1
1.3.5	Protocolo de comunicación.....	1
1.3.6	Sensor.....	1
1.3.7	Transductor.....	1
2.	CARACTERÍSTICAS DE SOFTWARE PROPUESTO PARA EL DESARROLLO DE LA HERRAMIENTA DE MONITOREO CONTROL Y ADQUISICIÓN DE DATOS.....	2
2.1	Características técnicas SCADA de INDUSOFT.....	2
2.2	Compatibilidad de INDUSOFT con equipos Mitsubishi.....	2
2.3	Hard key.....	2
2.4	Soft key.....	2
2.5	Servidor SCADA	2
2.6	Desarrollador SCADA	2
3.	PROCESO DE ALMACENTAMIENTO, MONITOREO Y CONTROL DE DATOS PROPUESTO PARA LA AUTOMATIZACIÓN DEL MANTENIMIENTO.....	3
5.1	Definición de base de datos.....	3
5.2	Microsoft Access como base de datos de INDUSOFT.....	3
5.3	Compatibilidad de INDUSOFT con bases de datos.....	3
5.4	Diagrama de flujo para la creación en la base de datos.....	3
5.5	Descripción de pasos para crear una base de datos para SCADA de INDUSOFT.....	3

5.6	Interacción entre SCADA y sistema de ejecución de manufactura	3
4.	PROPUESTA DE PROGRAMAS PARA ADQUIRIR, MONITOREAR, CONTROLAR Y PRESENTAR LAS VARIABLES ÚTILES EN LA AUTOMATIZACIÓN DEL MANTENIMIENTO.....	4
4.1	Lenguaje de programación escalera.....	4
4.2	Lenguaje de programación gráfica.....	4
4.3	Proceso de programación del SCADA.....	4
4.4	Proceso de programación de los equipos de campo en el sistema de ejecución de manufactura.....	4
5.	PRESENTACIÓN DE LA HERRAMIENTA Y RESULTADOS.....	5
5.1	Resultados en el desarrollo de la herramienta para la automatización del mantenimiento.....	5
5.2	Aplicaciones a las cuales se ajusta la herramienta.....	5
5.3	Resultado de beneficios que puede proveer la herramienta.....	5
	CONCLUSIONES	6
	RECOMENDACIONES	7
	BIBLIOGRAFÍA.....	8
	APÉNDICES	9
	ANEXOS.....	10

6. MÉTODOS Y TÉCNICAS

El estudio será de tipo exploratorio y descriptivo. Para la obtención de datos se desarrollará un sistema SCADA como herramienta en la automatización del mantenimiento, el cual tendrá una base de datos con los parámetros establecidos para la herramienta. Los datos se analizarán matemáticamente para verificar el correcto funcionamiento de la herramienta. Se verificará el correcto almacenamiento de las variables en la base de datos, utilizando mediciones de prueba instantáneas para ser comparados por hora y fecha. Se realizarán mediciones instantáneas y se compararán con la base de datos de la herramienta. También se analizarán las gráficas de los indicadores del mantenimiento para verificar que correspondan a las mediciones realizadas y a los datos recabados.

6.1. Metodología utilizada para el desarrollo de la herramienta en la automatización del mantenimiento

La metodología del trabajo de investigación consiste principalmente en 3 etapas:

La primera etapa consiste en recabar información sobre los parámetros útiles en la automatización del mantenimiento y sus ecuaciones matemáticas, para obtener datos cuantificables.

La segunda etapa consiste en desarrollar un sistema SCADA que pueda generar una base de datos de los parámetros útiles a la automatización del mantenimiento.

La tercera etapa consiste en presentar el sistema SCADA como herramienta en la automatización del mantenimiento y verificar su funcionalidad.

Las fases de la investigación se presentan a continuación:

6.1.1. Primera fase

Consiste en la recopilación de toda la información útil para desarrollar la herramienta para la automatización del mantenimiento, para lo cual se estiman 5 semanas. Los recursos que se consideran necesarios para esta fase son acceso a internet, tiempo, utilería. Los instrumentos utilizados, para esta fase, consistirán en documentos de investigaciones científicas, libros, entre otros. Se tiene como objetivo determinar con base en documentos, las variables que pueden aplicarse en la herramienta y que pueden ser procesadas por los equipos de campo y el sistema SCADA.

6.1.2. Segunda fase

Tiene como objetivo la creación de una base de datos del sistema SCADA de INDUSOFT donde se almacenarán las variables a monitorear y controlar. Esta fase requiere de la implementación del software SCADA, requiriendo los recursos de un tiempo estimado en 2 semanas, acceso a internet, ordenador (hardware), sistema SCADA (software). La técnica es utilizar las investigaciones realizadas para crear y direccionar la base de datos del sistema. La base de datos creada será enfocada a las variables útiles a la automatización del mantenimiento.

6.1.3. Tercera fase

En esta etapa se espera como resultado la obtención de un sistema SCADA como herramienta en la automatización del mantenimiento aplicable a sistemas de ejecución de manufactura. Para el desarrollo de esta fase se estima un tiempo aproximado a 4 semanas. Los recursos son tiempo, internet, utilería, documentación, software y hardware. El objetivo de la tercera fase es aplicar métodos de programación para desarrollar el sistema SCADA como herramienta en la automatización del mantenimiento.

6.1.4. Cuarta fase

El resultado esperado es presentar la herramienta en la automatización del mantenimiento e iniciar el control y adquisición de datos útiles a la automatización del mantenimiento en los sistemas propuestos. Los recursos necesarios consisten en tiempo, utilería, hardware y software. El objetivo es determinar el correcto funcionamiento de la herramienta en la adquisición y control de datos.

6.1.5. Quinta fase

Se realiza la adquisición de datos por la herramienta, de forma automática, sin la intervención humana. El objetivo es medir los parámetros que se establecieron como útiles en la automatización del mantenimiento, los cuales deberán ser almacenados en la base de datos, de forma automática. Los recursos necesarios consisten en tiempo, software y hardware.

6.1.6. Sexta fase

Consiste en el análisis de datos y el desarrollo de las conclusiones obtenidas, al implementar un sistema SCADA como herramienta en la automatización del mantenimiento aplicado a sistemas de ejecución de manufactura.

7. OBTENCIÓN DE DATOS

La etapa consiste en la obtención de los parámetros cuantitativos almacenados en la base de datos del ordenador del sistema SCADA, desarrollado como herramienta en la automatización del mantenimiento para los sistemas de ejecución de manufactura a utilizar como referencia. Entre las variables a analizar en los registros se encuentran: tiempos, velocidades, temperaturas, ciclos de operación, frecuencias, corrientes, voltajes. Se realizarán cálculos utilizando las fórmulas establecidas para determinar los parámetros útiles a la automatización del mantenimiento.

Los datos serán obtenidos de los sistemas de control de ejes MR-MQ170, el cual es utilizado para el corte de metales, madera, papel, entre otras. El segundo sistema que será utilizado es el de dosificación por medio de sistemas de bombeo proporcionales, controlados por variadores de frecuencia D700. El tercer sistema que será monitoreado es el de las bandas de transporte de productos utilizando servo drivers MR-J3-S. Los datos serán obtenidos de forma individual para cada sistema y serán centralizados por el sistema SCADA.

Con base en los datos obtenidos se podrá determinar la capacidad que un sistema de adquisición y control de datos tiene, como herramienta en la automatización del mantenimiento.

La obtención de datos demostrará la posibilidad de implementar a un sistema de ejecución de manufactura, sistemas que ayuden a automatizar el mantenimiento o bien a mejorarlo.

8. ANÁLISIS FINAL

8.1. Análisis de datos

Los datos obtenidos por la herramienta serán analizados individualmente por proceso y posteriormente se analizarán en forma global. Pretendiendo obtener parámetros generales y específicos del sistema de ejecución de manufactura.

Con los datos obtenidos por la herramienta en los sistemas estáticos de ejecución de manufactura. Se realizará un análisis cuantitativo de los parámetros para ser verificados. Además se verificará que el sistema sea capaz de monitorear, controlar y almacenar las variables calculadas y procesadas como parámetros en la automatización del mantenimiento. El análisis cuantitativo será realizado tomando los registros almacenados de las variables monitoreadas. Se realizará el cálculo utilizando las ecuaciones matemáticas establecidas en el desarrollo del programa de la herramienta y se compararán los parámetros almacenados por el sistema SCADA con los parámetros calculados.

Será verificado que los valores, hora y fecha en la adquisición y almacenamiento de datos sea correcta. Los datos también serán graficados, por lo que se deberá analizar que exista correlación entre los parámetros establecidos de forma numérica, con respecto a los parámetros establecidos de forma gráfica. Para verificar el correcto valor de las variables, se realizarán lecturas con instrumentos de medición según su requerimiento.

9. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

Tabla I. Cronograma

		ABRIL, 2015				MAYO, 2015				JUNIO, 2015				JULIO, 2015				AGOSTO, 2015					
		SEMANA 1	SEMANA 2	SEMANA 3	SEMANA 4	SEMANA 5	SEMANA 6	SEMANA 7	SEMANA 8	SEMANA 9	SEMANA 10	SEMANA 11	SEMANA 12	SEMANA 9	SEMANA 10	SEMANA 11	SEMANA 12	SEMANA 17	SEMANA 18	SEMANA 19	SEMANA 20		
1	RECOPILACIÓN DE INFORMACIÓN																						
	RECOPILACIÓN DE INFORMACIÓN																						
	OGANIZACIÓN DE INFORMACIÓN																						
	ANÁLISIS DE INFORMACIÓN PARA DETERMINAR INFORMACIÓN ÚTIL A LA INVESTIGACIÓN																						
	ANÁLISIS DE INFORMACIÓN PARA DETERMINAR INFORMACIÓN ÚTIL A LA INVESTIGACIÓN																						
	FILTRAR INFORMACIÓN A UTILIZAR EN LA INVESTIGACIÓN Y PLASMARLA																						
	INVESTIGACIÓN SOBRE CREACIÓN DE BASE DE DATOS EN SISTEMA SCADA																						

10. RECURSOS NECESARIOS

10.1. SCADA de INDUSOFT

El desarrollo de la herramienta hace uso del software diseñado por INDUSOFT (Indusoft Web Studio), el cual se encuentra instalado en un ordenador dedicado a aplicaciones de automatización, por lo cual la inversión únicamente consistirá en tiempo dedicado para desarrollar el SCADA, utilizando los métodos de programación necesarios para el control y adquisición de datos útiles en la automatización del mantenimiento.

10.2. Servidor del sistema SCADA

Para desarrollar la herramienta es necesario implementar un ordenador en el cual se configurará la base de datos del sistema. El ordenador utilizado para la base de datos, será la misma en la cual se encuentra instalado el sistema SCADA de INDUSOFT.

10.3. GX-Works

Es el software utilizado para desarrollar los programas en los controladores lógicos programables Mitsubishi, los cuales son utilizados en los sistemas de ejecución de manufactura. Los programas requeridos se encuentran instalados en el ordenador, por lo cual no es necesario de inversiones extras.

10.4. GT-Designer

Es el software utilizado para desarrollar los programas para el interfaz hombre-máquina de Mitsubishi. Este software se encuentra instalado en el ordenador por lo cual no es necesario incurrir en inversiones extra.

10.5. HMI

Son los equipos utilizados como interfaz hombre-máquina (HMI), por lo general su función es la de permitir el cambio y visualización de variables en las máquinas de los sistemas de ejecución de manufactura, las pantallas distribuidas actualmente por Mitsubishi, cuentan con un sistema táctil para cambiar los parámetros. Las pantallas se programan dibujando botones, pantallas de ingreso de variables o bien de visualización. Las pantallas HMI se interconectan con los controladores lógicos programables para visualizar y controlar sus parámetros, permitiendo con ello controlar los sistemas de ejecución de manufactura, con la limitante de su capacidad para almacenar información. Los sistemas a utilizar ya cuentan con HMI de Mitsubishi, por lo cual no se incurre en costos para desarrollar la herramienta.

10.6. PLC

Los controladores lógicos programables son equipos de campo, encargados de recibir la información de los sensores en los diversos procesos de sistemas de ejecución de manufactura y controlan sus actuadores, dando la motilidad de los equipos de cada sistema. Los sistemas de ejecución de manufactura, que se utilizan en el presente trabajo de investigación, cuentan con controladores lógicos programables de Mitsubishi, por lo cual no es necesario incurrir en gastos de adquisición.

10.7. Materiales varios

Para implementar la herramienta se deberán incluir equipos tales como enrutadores, cable, borneras, entre otros, para lo cual se estima un gasto próximo a los Q 5 000. Los cuáles serán asumidos por el estudiante de la ingeniería de mantenimiento.

Debido a que el sistema podrá ser implementado en diversidad de sistemas de ejecución de manufactura, se hace referencias a los costos de adquirir los equipos necesarios para implementar el sistema SCADA de INDUSOFT, como herramienta en la automatización del mantenimiento y utilizando equipos de campo Mitsubishi. A continuación se describe la cuantificación de costos como ejemplo:

Sueldo mensual por recopilación de información, monitoreo y control de variables devengado, por una persona que se encargue de aplicar rutinas de adquisición de datos.

Tabla II. **Gastos por servicio**

Sueldo mensual	Q 6 000,00
Sueldo anual	Q 72 000,00
Insumos varios anual	Q 5 000,00

Fuente: elaboración propia.

Costo total anual para administrar la información de las variables útiles a la automatización del mantenimiento por medio de una persona dedicada a dichos datos.

Tabla III. **Gastos anual total por servicios**

Costo total anual	Q 77 000,00
-------------------	-------------

Fuente: elaboración propia.

La inversión para desarrollar la herramienta es de “Q 40 500,00” asumiendo que no se cuenta con ningún equipo de los requeridos en la planta de producción.

En el siguiente cuadro se presenta un estimado de los costos de los recursos necesarios para la implementación del sistema.

Tabla IV. **Costos de sistema**

Núm.	Descripción	Costo por unidad	Cantidad a emplear	Costo Total
1	Licencia SCADA de INDUSOFT	Q 12 000,00	1	Q 13 000,00
1	Servidor SCADA	Q 7 000,00	1	Q 7 000,00
1	Licencia GX-WORKS	Q 5 000,00	1	Q 5 000,00
1	Licencia GT-Designer	Q 4 000,00	1	Q 4 000,00
1	HMI	Q 2 000,00	2	Q 4 000,00
1	PLC	Q 2 500,00	1	Q 2 500,00
1	MATERIALES VARIOS	Q 5 000,00	1	Q 5 000,00
1	PAGO DE ASESOR	Ad honorem	1	Q 0,00
			SUMA TOTAL	Q 40 500,00

Fuente: elaboración propia.

A continuación se presenta la diferencia en el monitoreo y adquisición de datos acorde a procedimientos por intervención humana *versus* la inversión de la herramienta sistema propuesto.

Tabla V. **Costo anual total *versus* inversión**

Inversión de la Herramienta	Inversión anual por personal
Q 40 500,00	Q 77 000,00

Fuente: elaboración propia.

El retorno de la inversión de la herramienta la recuperamos después de 6 meses y 23 días.

CONCLUSIONES

1. Al aplicar métodos de programación se pueden desarrollar e interpretar variables, avisos e indicadores operacionales del mantenimiento, para los sistemas automatizados en entornos gráfico, a tiempo real y a determinada frecuencia.
2. Al crear una base de datos por medio de un servidor SCADA pueden almacenarse variables útiles en la administración y automatización del mantenimiento.
3. Las variables mantenimiento pueden ser determinadas, aplicadas y utilizadas en sistemas SCADA para desarrollar herramientas en la automatización del mantenimiento.
4. Los sistemas de ejecución de manufactura pueden ser ampliados para ser enfocados a la adquisición y monitoreo de variables útiles a la automatización del mantenimiento.

RECOMENDACIONES

1. Se deben aplicar métodos de programación para desarrollar e interpretar variables, avisos e indicadores operacionales del mantenimiento acordes a la aplicación o sistema de forma independiente y posteriormente de forma global.
2. Establecer la capacidad de almacenamiento del servidor SCADA acorde al tiempo de permanencia de los datos almacenados y la frecuencia de muestreo en cada proceso.
3. En la implementación de la herramienta deberán ser creadas rutinas periódicas para realizar mediciones y determinar la confiabilidad del sistema.
4. Para garantizar la velocidad y estabilidad en el sistema de comunicación de la herramienta se deberán guardar las recomendaciones y parámetros de los fabricantes y diseñadores de los equipos utilizados en la implementación.

BIBLIOGRAFÍA

1. Aranguren, Z. S. & Tarantino, A. R. (2009). *Metodologías y tecnologías de detección y diagnóstico de fallas aplicadas a procesos industriales. Revista colombiana de tecnologías de avanzada*, 1(13), 106-116.
2. Cárcel, C. F. J. (2012). *Modelo de mantenimiento operativo en explotación, orientado a la mejora de la fiabilidad y eficiencia energética, basado en técnicas de gestión del conocimiento* (Disertación doctoral).
3. Castellano, A. W. J. (2009). *Modelo de optimización del mantenimiento en estaciones de flujo mediante los análisis de criticidad, modos y efectos de falla*. (Tesis de maestría no publicada). Universidad de Zulia, Facultad de Ingeniería, República Bolivariana, Venezuela.
4. Cruz, R. R., Zaragoza, P. J. A. & Zuñiga F. I. A. (2009). *Integrando islas de automatización en manufactura a través de software. División de estudios de posgrado de investigación DEPI*, 1-8.
5. Díaz, J. L., Rozo, A. D., & García, A. P. (2009). *Ingeniería de instrumentación del compresor centrífugo. Revistas colombianas de tecnología de avanzada*, 2, 61-68.
6. Fernández, M., (2007). *Propuesta de formulación de una metodología de gerencia de proyecto para sistemas SCADA en el sector de*

energías alternativas. (Tesis de maestría no publicada).
Universidad Central de Venezuela, Caracas, Venezuela.

7. Galar, D., Berges, L., Lambán, M., & Tormos, B. (2014). *The measurement of maintenance function efficiency through financial KPIs*. *Dyna*, 81(184), 102-109.
8. lung, B., Levrat, E., Crespo, M. A., Erbe, H. (2009). *Conceptual framework for e-Maintenance: Illustration by e-Maintenance technologies and platforms*. Elsevier Ltd.
doi:10.1016/j.arcontrol.2009.05.005
9. Lledó, G. L. (2007). *Automatización de una planta industrial*. (Tesis de doctorado no publicada). Universidad de Alicante, Departamento de Física, Ingeniería de Sistemas y Teoría de la Señal.
10. Lobo, E., Diaz, I., & Calderón, E. (2012). *Sistema Integral de Control Automático de Procesos*. X jornadas de Investigación–UNEXPO, Puerto Ordaz.
11. Maldonado, L. C., Tarantino, A. R., Aranguren, S. & Peñazola, S. S. (2009). *Ingeniería de automatización para el proceso de humectación de la arcilla en las industrias del norte de Santander-Colombia*. *Revistas colombianas de tecnologías de avanzada*, 1(13), 49-56.
12. Moubray, J. (2004). *Mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM)*. Traducido y Adaptado: Carlos Mario Pérez Jaramillo-Practitioner de RCM2 para Colombia, México, Centro América y el

Pacto Andino.
http://www.soporteycia.com.co/documentos/Sop_Med RCM%
20Sep-04.pdf, 18, 03-07.

13. Proelectric – Mitsubishi electric Guatemala. (2015). Recuperado el 05 de enero de 2015, de <http://www.proelectric.com.gt/qs.html>
14. Silva Idrovo, N. P. (2014). Artículo Científico-*Diseño e implementación de un sistema SCADA utilizando la Plataforma Factory Talk para la planta industrial de la Corporación Ecuatoriana de Aluminios CEDAL SA en Latacunga.*
15. Terán, O., Narciso, F., Ríos-Bolívar, A., Hidrobo, F., Álvarez, J., León, L., & Hernández, D. (2009). *Un marco metodológico para el desarrollo de aplicaciones para automatización industrial.* Revista de la Facultad de Ingeniería Universidad Central de Venezuela, 24(1), 57-69.
16. Veera, R. S., Kusumah, K. I., & Ganapathy, V. (2012). *Service oriented framework for industrial automation systems.* Elsevier Ltd. doi:10.1016/j.proeng.2012.07.234

APÉNDICES

Para la implementación de un sistema SCADA debe establecerse comunicación entre ordenadores y equipos de campo, para lo cual debe hacerse referencia a los protocolos de comunicación.

Los equipos Mitsubishi habilitan la comunicación por medio del protocolo MC (MELSEC).

Los protocolos de comunicación Ethernet han sido desarrollados, logrando evolucionar para adecuarse a las exigencias de velocidades de comunicación y distancias entre equipos elevadas.

Los protocolos Ethernet y MC, son los propuestos y permitidos por los equipos para el desarrollo de una red que permita establecer y mantener la comunicación entre ordenador y equipos de campo propuestos, que permitan desarrollar el sistema SCADA como herramienta de supervisión, control y adquisición de datos.

ANEXOS

Para obtener información sobre las características del software Indusoft Web Studio, se hicieron consultas en el link que se presenta a continuación:

<http://www.indusoft.com/>

La página web desarrollada ofrece acceso a ejemplos, notas técnicas, industrias de aplicación e información para conocer a fondo el sistema de control, monitoreo y adquisición de datos Indusoft Web Studio.

La página electrónica desarrollada por la empresa MITSUBISHI ELECTRIC tiene acceso por medio del siguiente link:

<https://us.mitsubishielectric.com/fa/en>

La página ofrece información sobre las características técnicas de los sistemas automatizados de ejecución de manufactura con equipos Mitsubishi.

