



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

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE UN ESTUDIO TÉCNICO DE ACTUALIZACIÓN DEL
SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN DE DISPOSITIVOS DE MOVIMIENTO INTELIGENTE
PARA MEJORAR LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN UNA IMPRESORA FLEXOGRÁFICA**

Edinson Hernández Barillas

Asesorado por el MA. Ing. Saúl Cabezas Durán

Guatemala, enero de 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE UN ESTUDIO TÉCNICO DE ACTUALIZACIÓN DEL
SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN DE DISPOSITIVOS DE MOVIMIENTO INTELIGENTE
PARA MEJORAR LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN UNA IMPRESORA FLEXOGRÁFICA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

EDINSON HERNÁNDEZ BARILLAS

ASESORADO POR EL MA. ING. SAÚL CABEZAS DURÁN

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO ELECTRICISTA

GUATEMALA, MARZO DE 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Christian Moisés de la cruz leal
VOCAL V	Br. Kevin Armando Cruz Lorente
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR	Ing. José Guillermo Bedoya Barrios
EXAMINADOR	Ing. Guillermo Antonio Puente Romero
EXAMINADOR	Ing. Carlos Fernando Rodas
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 INVESTIGACIÓN DE UN ESTUDIO TÉCNICO DE ACTUALIZACIÓN DEL SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN DE DISPOSITIVOS DE MOVIMIENTO INTELIGENTE PARA MEJORAR LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN UNA IMPRESORA FLEXOGRÁFICA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrado con fecha 29 de noviembre de 2020.

Edinson Hernández Barillas

Ref. EEPFI-1530-2020
Guatemala, 20 de noviembre de 2020

Director
Armando Alonso Rivera Carrillo
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Presente.

Estimado Ing. Rivera:

Reciba un cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado. El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado y aprobado el **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE UN ESTUDIO TÉCNICO DE ACTUALIZACIÓN DEL SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN DE DISPOSITIVOS DE MOVIMIENTO INTELIGENTE PARA MEJORAR LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN UNA IMPRESORA FLEXOGRÁFICA**, presentado por el estudiante **Edinson Hernández Barillas** carné número **201313731**, quien optó por 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 en Artes en Energía y Ambiente.

Y 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 Décimo, 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.

Atentamente,

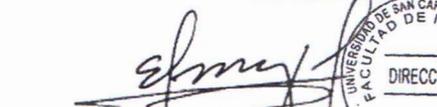
SAUL CABEZAS DURÁN
Ingeniero Electricista / Colegiado 4648
Master en Administración de Empresas


Mtro. Saul Cabezas Durán
Asesor

"Id y Enseñad a Todos"


Mtro. Juan Carlos Fuentes Montepeque
Coordinador de Área
Desarrollo Socio-Ambiental y Energético




Mtro. Edgar Darío Álvarez Cotí
Director



Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería



EEP-EIME-035-2020

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 Coordinador y Director de la Escuela de Estudios de Postgrado, del Diseño de Investigación en la modalidad Estudios de Pregrado y Postgrado titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE UN ESTUDIO TÉCNICO DE ACTUALIZACIÓN DEL SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN DE DISPOSITIVOS DE MOVIMIENTO INTELIGENTE PARA MEJORAR LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN UNA IMPRESORA FLESOGRÁFICA**, presentado por el estudiante universitario Edinson Hernández Barillas, procedo con el Aval del mismo, ya que cumple con los requisitos normados por la Facultad de Ingeniería en esta modalidad.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. Armando Alonso Rivera Carrillo
Director

Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica



Guatemala, noviembre de 2020

DTG. 016.2021.

La Decana 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 Eléctrica, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE UN ESTUDIO TÉCNICO DE ACTUALIZACIÓN DEL SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN DE DISPOSITIVOS DE MOVIMIENTO INTELIGENTE PARA MEJORAR LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN UNA IMPRESORA FLEXOGRÁFICA**, presentado por el estudiante universitario: **Edinson Hernández Barillas**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



ing. Anabela Cordova Estrada
Decana



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
DECANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
★

Guatemala, enero 2021.

AACE/asga

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por ser el centro de toda mi vida y darme salud para alcanzar mis metas.
- Mis padres** Israel Hernández García y María Susana Barillas Martínez. Por su amor y apoyo incondicional.
- Mis hermanas** Lucía y Neili Hernández Barillas. Por su apoyo incondicional durante toda la carrera.
- Mi novia** María José Barrientos Solís, por creer en mí en todo momento.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser el lugar que me permitió cambiar mi futuro, brindándome los conocimientos necesarios para ser un profesional.
Facultad de Ingeniería	Por brindarme la oportunidad de forjar una profesión de manera responsable.
Grupo Polytec	Por brindarme la oportunidad de realizar el diseño de investigación dentro de sus instalaciones.
Mis amigos	Por haberme acompañado en toda la carrera y sobre todo a Samuel Adolfo Choc Samayoa y José Carlos Samayoa Santiago.
Mi asesor	MA. Ing. Saúl Cabezas Durán por haberme apoyado durante todo el trabajo del diseño de investigación.
Mi pastor	Janssen Daniel Carrera, por su apoyo espiritual y creer incondicionalmente en mi potencial.

**Jefe de mantenimiento
de Planta de Polytec**

Ing. Edwin Manolo Tock Amézquita por su ayuda incondicional en la ejecución del diseño de investigación.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN.....	XIII
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	5
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	9
4. JUSTIFICACIÓN	13
5. OBJETIVOS	15
5.1. General.....	15
5.2. Específicos	15
6. NECESIDADES POR CUBRIR	17
7. MARCO TEÓRICO.....	19
7.1. Impresión flexográfica.....	19
7.2. Tipos de impresoras	21
7.3. Ventajas de la impresión flexográfica	22
7.4. Tipos de tintas utilizadas	23
7.5. Eficiencia energética en impresoras flexográficas	25

7.5.1.	Rendimiento	26
7.5.2.	Calidad	27
7.6.	Dispositivos de movimiento inteligente.....	29
7.6.1.	Controladores de servomotores	29
7.6.2.	Motores paso a paso	31
7.6.3.	Variadores de frecuencia.....	35
7.7.	Red de comunicación de datos	37
7.7.1.	Red Profibus.....	37
7.7.2.	Control lógico programable	41
7.8.	Programación.....	45
7.8.1.	Entorno de programación TIA Portal	45
7.9.	Topología de redes de comunicación.....	47
7.9.1.	Definición.....	47
7.9.2.	Clasificación	48
7.9.2.1.	En bus	48
7.9.2.2.	En estrella	49
7.9.2.3.	En anillo.....	50
7.9.2.4.	En malla	51
7.9.2.5.	Híbrida.....	52
8.	PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS	53
9.	METODOLOGÍA	57
9.1.	Fases del estudio	58
9.2.	Fase 1: exploración bibliográfica	58
9.3.	Fase 2: recolección de datos y casos	58
9.4.	Fase 3: análisis de la información	68
9.5.	Fase 4: interpretación de información	70
9.6.	Fase 5: estabilización del sistema de comunicación	71

9.7.	Fase 6: proyección de ahorro energético	72
9.8.	Fase 7: presentación y discusión de resultados	73
10.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN.....	75
11.	FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO	77
12.	CRONOGRAMA.....	79
13.	REFERENCIAS.....	81
14.	APÉNDICES.....	87

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Esquema de impresión flexográfica	20
2.	Impresora flexográfica de tambor central	22
3.	Diagramas eléctricos de controladores INDRAMAT	31
4.	Diagrama eléctrico de controladores de motores paso a paso	34
5.	Diagrama eléctrico de variadores EURO THERM.....	37
6.	Conexión del protocolo Profibus	40
7.	Estructura del PLC	43
8.	Ejecución del PLC	44
9.	Creación de nuevo proyecto	45
10.	Configuración de dispositivos.....	46
11.	Configuración tipo Bus	49
12.	Configuración estrella.....	50
13.	Configuración en anillo.....	51
14.	Configuración en malla.....	52
15.	Analizador de redes CIRCUTOR e3.....	60
16.	Diagrama de conexión en trifásico	61
17.	Voltaje de fase a fase.....	62
18.	Armónico en corriente	62
19.	Sistema de conexión ProfiCore	66
20.	Sistema de conexión ProfiTrace	67
21.	Estabilidad de voltajes.....	70
22.	Ruido eléctrico en el sistema	71
23.	Voltajes de comunicación esperados	72

24.	Cronograma.....	79
-----	-----------------	----

TABLAS

I.	Clasificación de eficiencia energética.....	29
II.	Tabla de variables.....	57
III.	Eficiencia mensual de la impresora.....	59
IV.	Eficiencia de los equipos instalados.....	59
V.	Cantidad de armónicos en voltaje.....	63
VI.	THD en Corriente.....	63
VII.	THD en voltaje.....	64
VIII.	Cantidad de armónicos en corriente.....	64
IX.	Cantidad de corriente.....	65
X.	Voltaje de fase a fase.....	65
XI.	Flicker ponderado.....	66
XII.	Voltaje en los nodos.....	67
XIII.	Verificación de conectores Profibus.....	67
XIV.	Voltaje de comunicación.....	68
XV.	Medidas de tendencia central.....	68
XVI.	Comparativo de eficiencia de equipos.....	69
XVII.	Proyección de ahorro energético.....	73
XVIII.	Recursos necesarios para la investigación.....	77

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
°	Grados
Hz	Hercio
KW	Kilovatio
Km	Kilómetro
KV	Kilovoltio
MW	Mega vatio
MWh	Mega vatio hora
<	Menor que
m	Metro

GLOSARIO

Barniz UV	Barniz ultravioleta.
Color key	Acetatos o pruebas de color que contienen el arte con uno de los colores del proceso. Se utilizan mínimo cuatro en cada página a imprimir.
CTP	<i>Computer to Plate</i>
DIN	<i>Deutsches Institut für Normung</i> (Instituto Alemán de Normalización)
Impacto ambiental	Alteración positiva o negativa que se hace al ambiente. Indicador ambiental expresión numérica, registro o algún otro parámetro que la organización establezca, para verificar el cumplimiento progresivo de sus metas ambientales.
Información técnica	Información referida a los datos de fabricación, operación y repuestos de cada maquinaria o equipo.
ISO	Organización Internacional para la Estandarización.

Mantilla	Encargada de transmitir la imagen de tinta de la plancha al papel. Está constituida por dos o tres capas de tejidos dependiendo de la fabricación de la capa superficial, es de caucho y se usan otros tejidos como el algodón.
Mejora continua	Proceso cíclico de optimización de los procesos que realiza una organización. Consiste en planificar, hacer, verificar y actuar para mejorar el desempeño
Negativos	Es una copia del arte. Tiene transparente las partes que se van a imprimir y negro las que no se utilizarán.
OHSA	Sistema de Gestión de Salud y Seguridad Laboral.
Placa	Lámina de aluminio presensibilizado con recubrimiento fotosensible, el revelador elimina el área de no imagen. Las placas son las transportadoras de imagen hacia la mantilla.
Polímero	Los polímeros se producen por la unión de cientos de miles de moléculas pequeñas denominadas monómeros que constituyen enormes cadenas de las formas más diversas.
PVC	Es el producto de la polimerización del monómero de cloruro de vinilo a policloruro de vinilo. Es el derivado del plástico más versátil.

Stock

Tecnicismo en inglés utilizado para designar un almacenamiento controlado de materiales.

RESUMEN

Con el diseño de estudio técnico se aportará un sistema de automatización que será probado por medio de software y hardware. Se inicia con las mediciones actuales del funcionamiento de la impresora flexográfica para obtener los valores de calidad de energía y topología actual de la red para luego determinar los voltajes de comunicación que hacen un sistema confiable. Con los valores actuales de operación y los necesarios para el funcionamiento correcto se estimará la eficiencia energética que se puede obtener con la implementación del nuevo sistema de automatización.

Para la estimación de la eficiencia energética en la impresora flexográfica se realizará por medio de un analizador de redes y con los siguientes indicadores: IPFT (Interrupción de la Producción por Falla Técnica), MTBF (Tiempo Medio entre Fallas), MTTR (Tiempo Medio de Reparación), TM (Tiempo Muerto).

La baja eficiencia energética de la impresora flexográfica radica principalmente en la red y dispositivos de movimiento inteligente obsoletos, que causan altos consumos de energía eléctrica y paros continuos por fallas técnicas. El diseño proporcionará la topología de red adecuada para el sistema de automatización, la actualización de los controladores de servomotores INDRAMAT, tarjetas de control de motores *Steper Siemens* y variadores de frecuencia Eurotherm.

No se realizará una programación de todo el código, así como tampoco la eliminación del virus dentro del sistema. El estudio técnico proporcionará la modificación del código principal y configuración en las partes donde se actualizarán los dispositivos de movimiento inteligente.

La mejora continua en las industrias impulsa la reducción de tiempos de reparación y aumentar la producción de su maquinaria. Para lo cual se dará un detalle de los gastos generados por las interrupciones técnicas, compra de conectores Profibus, calentamiento en los equipos. Y luego se dará una proyección del ahorro en reparaciones, eficiencia y producción de la impresora flexográfica.

1. INTRODUCCIÓN

Los requerimientos de la industria cada día son más exigentes y busca la optimización de los recursos. La baja eficiencia energética de una impresora flexográfica se refleja en el consumo elevado de energía eléctrica y fallas recurrentes de los dispositivos de movimiento inteligente, por estar obsoletos. Actualmente la impresora tiene los indicadores más bajos del área de producción, debido a que presenta el mayor costo por metro impreso debido a la serie de problemas recurrentes con la red de comunicación de datos causando secuencias incorrectas.

La actualización del sistema de automatización de los dispositivos de movimiento inteligente para una impresora flexográfica constituye uno de los métodos más efectivos para generar eficiencia energética debido a que se sustituyen todos los equipos obsoletos de baja eficiencia y la red Profibus en mal estado que los comunica. El beneficio del estudio técnico es directamente para la industria flexográfica, por medio del ahorro energético y al ambiente por medio de la reducción del solvente y tintas que se desperdician al momento de cada paro de la impresora flexográfica.

Con el estudio técnico se aportará un sistema de automatización que será probado por medio de software y hardware. Se inicia con las mediciones actuales del funcionamiento de la impresora flexográfica, para obtener los valores de calidad de energía y topología actual de la red, para luego determinar los voltajes de comunicación que hacen un sistema confiable. Con los valores actuales de operación y los necesarios para el funcionamiento correcto, se estimará la

eficiencia energética que se puede obtener con la implementación del nuevo sistema de automatización.

Para la estimación de la eficiencia energética en la impresora flexográfica, se realizará, por medio de un analizador de redes y con los siguientes indicadores: IPFT (Interrupción de la Producción por Falla Técnica), MTBF (Tiempo Medio entre Fallas), MTTR (Tiempo Medio de Reparación) y TM (Tiempo Muerto).

Para la realización del estudio, se tendrá una fase inicial de recolección de datos, donde se realizarán mediciones para conocer la situación actual de la impresora flexográfica las cuáles serán ordenadas en tablas. Posteriormente se realizará un análisis e interpretación de la información recolectada para obtener valores de tendencia central, que mostrarán los datos a mejorar para lograr estabilizar el voltaje de comunicación del sistema. Al lograr la estabilización del voltaje se realizará una proyección del ahorro energético que se puede llegar a obtener con la implementación de los resultados del estudio técnico.

En el capítulo uno, se presentarán los antecedentes más importantes para esta investigación. En el capítulo dos, se hará una revisión bibliográfica de los fundamentos teóricos de la flexografía, eficiencia energética en impresoras, dispositivos de movimiento inteligente, redes de comunicación de datos y topologías de red. En el capítulo tres, se mostrará el proceso de recolección de la información inicial de operación. En el capítulo cuatro, se elaborarán tablas de las variables iniciales obtenidas.

En el capítulo cinco, se realizarán interpretaciones de las gráficas. En el capítulo seis, se realizará la propuesta de estabilización del voltaje en el sistema de automatización. En el capítulo siete, se detallará la proyección de la eficiencia

energética con el estudio propuesto. En el capítulo ocho se presentarán los resultados más significativos de la investigación y la discusión de estos respectivamente. Finalmente se darán las conclusiones de la investigación y las recomendaciones para la continuidad de esta.

2. ANTECEDENTES

La actualización de los sistemas de automatización es una práctica muy frecuente en las industrias de Guatemala, debido a que muchas de las máquinas para su operación utilizan equipos electrónicos obsoletos.

En Guatemala no se encontraron estudios sobre actualizaciones de dispositivos de movimiento inteligente, por tal motivo se presentan a continuación estudios que se han realizado en otros países.

En la publicación *Implementación de un sistema de control para regular la velocidad y posición de motores industriales utilizando el protocolo de comunicación OPC*, (González y Villamizar, 2019), proponen crear un modelo matemático para el proceso a implementar por medio de funciones de transferencia $G(s)$ y obtener un control PID. Las conclusiones a las que llegaron son, que para las funciones de transferencia la variable a manipular debe ser la frecuencia debido a que se puede programar en los variadores de frecuencia y la variable a medir debe ser la velocidad de los ejes. Además, proponen utilizar la técnica de ubicación de Polos y Ceros para el diseño de los controladores.

En la publicación *Análisis de los efectos que causan los armónicos en los motores a inducción cuando usan los variadores de frecuencia*, (Cevallos y Mesías, 2019), proponen distintas reglas para el esbozo de sistemas eléctricos libres de emisiones de armónicos para obtener un medio de comunicación eficiente. La recomendación fue que por el tipo de sistema de control que se trabaja se debe aplicar la norma IEE 519-2014, la cual no da metas para equipos individuales, además proporciona las demarcaciones de desviación de tensión

armónica para subyugar efectos dañinos con el equipo del interesado y del sistema.

En la publicación *Análisis de metodologías para la cuantificación de pérdidas económicas por presencia de armónicos eléctricos y ocurrencia de SAGS de tensión*, (Meza y Sabogal, 2018), proponen el método Wang, Chen y Lie en un enfoque sistemático para evaluar los impactos técnicos y económicos por perturbaciones en la red de tensión. También es utilizado para evaluar distintas opciones de preparación de la calidad de energía.

En la publicación *Configuración y Programación del PLC S7-1200 en comunicación PROFIBUS con el UNIDRIVE SP para uso Industrial*, (Yumbla y Landivar, 2017), proponen configurar el PLC como controlador y maestro de la red Profibus para cumplir con la función de controlador de los servomotores AC mediante un respectivo drive de potencia. Para la comunicación Profibus con el PLC se necesita el módulo de expansión CM 1243-5, el cual operará como maestro de la red Profibus. Las conclusiones a las que llegaron son que para la configuración del módulo CM 1243-5 y el PLC se debe utilizar el software TIA PORTAL y que solo es posible configurar como máximo 3 módulos CM por estación y para configurar los dispositivos SIEMENS es necesario descargar los archivos GSD de la página web del fabricante.

En la publicación *Recomendaciones para el Ahorro de Energía en Motores Eléctricos*, (Pincolini, 2017), se propone elegir correctamente la potencia del motor, el ciclo del motor, la velocidad del motor, motores síncronos. Se concluye que el rendimiento máximo de un motor se encuentra entre el 75 % y el 95% de su potencia nominal y utilizar motores inducción trifásicos en lugar de monofásicos se obtendrá una eficiencia entre el 3 % al 5 %.

En la publicación *Sistema de control de velocidad de un motor trifásico mediante un variador de frecuencia y sistema Scada*, (Betancour, 2016), se propone realizar la comunicación por medio de un protocolo Modbus para tener una comunicación abierta entre el Maestro-Esclavo entre los dispositivos conectados en diferentes tipos de bus o red. Concluye que para la codificación Modbus RTU para cada byte se debe enviar como cadena de 8 caracteres binarios enmarcados con un bit de inicio. Por lo tanto, para cada byte puede tenerse hasta 11 bits.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los requerimientos de la industria cada día son más exigentes y busca la optimización de los recursos. La baja eficiencia energética de una impresora flexográfica se refleja en el consumo elevado de energía eléctrica para producir la misma cantidad de metros impresos que otras impresoras. Actualmente la impresora tiene los indicadores más bajos del área, debido a que presenta el mayor costo por metro impreso, debido a la serie de problemas recurrentes y prolongados durante la operación.

La red de comunicación de datos frecuentemente deja de enviar/recibir las señales de voltajes, causando que no se ejecuten las secuencias correctas, provocando daños en sellos, ejes y tarjetas electrónicas de los dispositivos de movimiento inteligente. También presenta pérdida de solvente y tintas; debido a que las soluciones ya se encuentran realizadas y muchas veces los tiempos de reparación son extensos de hasta 120 horas.

La falta de soporte técnico es crítica, debido a que no se cuenta con respaldo de las configuraciones, drivers, claves, repuestos y programación. Actualmente se encuentran obsoletos los módulos de control de los motores Steper PLC Siemens serie 6ES7138-4D00-0AB0 (24 unidades), los variadores de frecuencia EURO THERM (12 unidades) y los controladores de los servomotores INDRAMAT (20 unidades). Todos los dispositivos se encuentran conectados dentro de una red Profibus con muchos problemas de ruidos y conectores en mal estado, que causan un sistema fallido que constantemente da problemas.

Al momento que se tiene problemas con la comunicación, las consecuencias son grandes en temas de consumo energético y producción. Del sistema de comunicación de la impresora flexográfica en un inicio se tenía el respaldo y soporte *online* desde Brasil (procedencia de la impresora flexográfica) de las fallas y configuraciones. Pero por el deterioro de la tecnología y falta de soporte técnico se procedió a modificar el código principal, dando como resultado virus dentro del sistema que agrava más la situación, debido a que muchas veces se borra toda la programación del sistema en cualquier parte del proceso productivo de la impresora.

La red Profibus está mal diseñada por la distribución de nodos. Se tienen problemas con armónicos en tensión y corriente que están fuera del rango permisible del 5% de THD (*Total Harmonic Distorsion*). Lo que genera un consumo de energía adicional en los motores, por las pérdidas del efecto Joule ($I^2 \cdot R$) y a esto se le suma la baja eficiencia de fabricación de los motores.

La eficiencia energética de la impresora flexográfica, debe ser la consecuencia de las acciones a realizar dentro del sistema de impresión, para aumentar su rentabilidad. Por ello en el presente diseño se plantea la pregunta principal: ¿La actualización de los dispositivos de movimiento inteligente puede mejorar la eficiencia energética de la impresora flexográfica?

Esta pregunta principal se complementa con las respuestas a varias preguntas auxiliares:

- ¿Cuáles con las condiciones actuales de operación de la impresora flexográfica?

- ¿Cuáles son los voltajes de comunicación en el software de medición que logran la estabilización del sistema?
- ¿Cómo obtener la estabilización del sistema de comunicación?
- ¿Cuánto ahorro energético se obtendrá con esta actualización?

4. JUSTIFICACIÓN

La realización del presente diseño se justifica en la línea de investigación de Gestión y uso eficiente de la energía del Área de Gestión Energética de la Maestría en Energía y Ambiente.

El ahorro energético, es un elemento fundamental para el aprovechamiento de los recursos energéticos y es uno de los problemas más importantes que toda industria debe resolver.

La actualización del sistema de automatización de los dispositivos de movimiento inteligente para una impresora flexográfica; constituye uno de los métodos más efectivos para generar ahorro energético, debido a que se sustituyen todos los equipos obsoletos de baja eficiencia y la red en mal estado que los comunica. Y se obtiene una red de comunicación más eficiente que interconecta todos los dispositivos para una respuesta más precisa en los movimientos con un menor consumo energético.

El estudio técnico en su primera fase presentará las condiciones iniciales de operación de la máquina como la topología actual de la red, los voltajes de comunicación, los armónicos de la red y el consumo energético con los dispositivos obsoletos. Con la actualización del sistema de automatización se obtendrán los detalles del ahorro energético, la topología de red adecuada al sistema, la THD dentro de parámetros aceptables y voltajes de comunicación estables.

Con este estudio técnico, se demostrará a la empresa de plásticos flexibles el ahorro energético que se obtiene con la actualización del sistema de automatización. Además, se aumentará la eficiencia de la impresora en los metros lineales impresos y se mejorará los indicadores del área de mantenimiento, reduciendo los tiempos en paros debido a que se contará con repuestos y soporte técnico de los dispositivos de movimiento inteligente.

El beneficio del estudio técnico es directamente para la industria por medio del ahorro energético y al ambiente por medio de la reducción del solvente y tintas, que se desperdician al momento de cada paro de la impresora flexográfica

5. OBJETIVOS

5.1. General

Diseñar una propuesta de actualización del sistema de automatización de dispositivos de movimiento inteligente, para mejorar la eficiencia energética en una impresora flexográfica en una empresa de plásticos flexibles.

5.2. Específicos

- Analizar las condiciones iniciales de operación de la impresora flexográfica.
- Determinar los voltajes de comunicación con el software de medición para lograr la estabilización del sistema.
- Explicar cómo obtener la estabilización del sistema de comunicación.
- Estimar el ahorro energético de la impresora flexográfica con esta actualización.

6. NECESIDADES POR CUBRIR

Con el estudio técnico, se aportará un sistema de automatización que será probado por medio de software y hardware. Se inicia con las mediciones actuales del funcionamiento de la impresora flexográfica, para obtener los valores de calidad de energía y topología actual de la red, para luego determinar los voltajes de comunicación que hacen un sistema confiable. Con los valores actuales de operación y los necesarios para el funcionamiento correcto, se estimará la eficiencia energética que se puede obtener con la implementación del nuevo sistema de automatización.

Para la estimación de la eficiencia energética en la impresora flexográfica, se realizará por medio de un analizador de redes y con los siguientes indicadores: IPFT (Interrupción de la Producción por Falla Técnica), MTBF (Tiempo Medio entre Fallas), MTTR (Tiempo Medio de Reparación) y TM (Tiempo Muerto).

La baja eficiencia energética de la impresora flexográfica radica principalmente en la red y dispositivos de movimiento inteligente obsoletos, que causan altos consumos de energía eléctrica y paros continuos por fallas técnicas. El estudio proporcionará la topología de red adecuada para el sistema de automatización, la actualización de los controladores de servomotores INDRAMAT, tarjetas de control de motores Steper Siemens y variadores de frecuencia Eurotherm.

No se realizará una programación de todo el código, así como tampoco la eliminación del virus dentro del sistema.

El estudio técnico proporcionará la modificación del código principal y configuración en las partes donde se actualizarán los dispositivos de movimiento inteligente.

La mejora continua en las industrias, impulsan la reducción de tiempos de reparación y aumentar la producción de su maquinaria. Para lo cual se dará un detalle de los gastos generados por las interrupciones técnicas, compra de conectores Profibus, calentamiento entre otros. Y luego se dará una proyección del ahorro en reparaciones, eficiencia y producción de la impresora flexográfica.

7. MARCO TEÓRICO

7.1. Impresión flexográfica

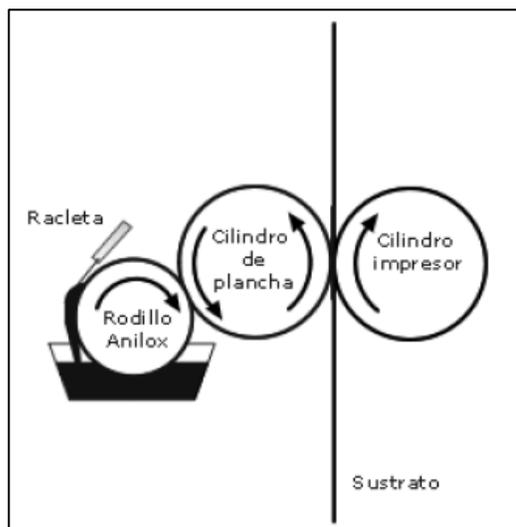
La impresión por medio de la flexografía es un sistema de impresión que trabaja de forma directa, mediante el uso de planchas que tienen estructuras flexibles grabadas en materiales con relieve, para este proceso se utilizan máquinas con funciones rotacionales y sistemas de tintas en estado líquido que tienen un secado de poco tiempo (Benedicto, 2016)

En la actualidad la industria se dedica a imprimir con tintas a base de solvente sobre la superficie de la capa de una película. Obteniendo figuras de un solo color que generalmente es todo tipo de texto o logos, pero también se pueden obtener impresiones de fotografías de hasta ocho colores en alta calidad y definición. La película impresa tiene un lugar muy importante en los empaques de los alimentos, siendo una parte muy importante el empaque de los alimentos que se venden.

- Tambor central: área circular para grabar con doble pared que es retocada, con una atención de plasma de cromo y níquel diligente a una temperatura (1500 grados C), este fortifica la superficie y la resguarda del desgaste. Tiene un circuito interno con agua tratada, glicol entre 20% y 30% a presión de 1 bar +/- 0.1, y temperatura de 30 grados C +/- 0.5.
- Embobinador: envuelve el producto requerido de forma que se solicite.

- Anilox: gradúa la cantidad de tinta a trasladar a la plancha, para editar. Es un cilindro grabado con celdas que acumulan la tinta, estancan la tinta por absorción y tensión superficial. En correspondencia a su tamaño y profundidad acrecienta el porte de entintado. Los tres parámetros que posee anilox son la lineatura, el volumen y la angulación.
- Cilindro porta-planchas: cilindro metálico que doma la forma flexible, la cual se incrusta a su alrededor con cinta adhesiva. Acarrea al material las especialidades del diseño de ese color.
- Cilindro impresor: cilindro con caparazón de caucho duro. Su función es amparar el material a imprimir con la plancha o cliché (abril, 2019)

Figura 1. **Esquema de impresión flexográfica**



Fuente: Benedicto (2016). *Plan de mantenimiento de una máquina flexográfica de 8 colores de tambor central*. Consulta: 10 de octubre de 2020. Recuperado de <https://repositorio.upct.es/xmlui/bitstream/handle/10317/5574/pfc6377.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

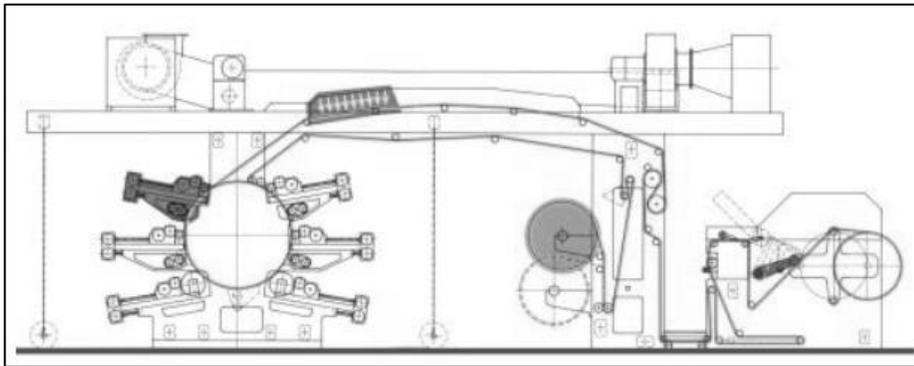
7.2. Tipos de impresoras

Se hace una descripción de los diferentes tipos de impresoras empleadas en las industrias de litografía y empaques flexibles, las cuales son automatizadas por sistemas de manejo por medio de ordenadores.

- Impresora en torreta: en la impresora convencional los depósitos de color están arriba, uno o uno y otro lado de la prensa. Cada estación de color es inducida por engranajes sobrellevados en la estructura de la prensa. Las prensas convencionales se elaboran desde uno hasta ocho depósitos de color, lo habitual es de seis colores.
- Primera ventaja: es general alternar la cinta de material para acceder que entrambos sean impresos por la prensa. Por enfile de la cinta se alcanza que la tinta seque antes de que el dorso sea impreso. La segunda ventaja es la cordialidad a los depósitos de color, provee cambios, lavados (abril, 2019)
- Impresora de tambor central: su principal característica por sobre los otros tipos de impresora, es que tiene una estructura muy rígida donde se ubican los grupos de impresión que son colocados; tanto del lado derecho como izquierdo de un cilindro central, que realiza la contrapresión para generar las impresiones (Benedicto, 2016)
- Impresora en línea: los depósitos de color son separadas, acomodadas horizontalmente e inducidas por un eje de transmisión común. Las prensas en trazo puede haber cualquier número de colores y planteadas para manejar rollos anchos, dado que no se precisa una sola estructura soporte

todos los depósitos de color. Se emplean en impresión de cajas plegadizas, corrugados, bolsas de pared, entre otros (Iriarte, 2017)

Figura 2. **Impresora flexográfica de tambor central**



Fuente: Benedicto (2016). *Plan de mantenimiento de una máquina flexográfica de 8 colores de tambor central*. Consulta: 10 de octubre de 2020. Recuperado de <https://repositorio.upct.es/xmlui/bitstream/handle/10317/5574/pfc6377.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

7.3. **Ventajas de la impresión flexográfica**

Al utilizar la técnica de impresión flexográfica, se reduce el tiempo de producir un orden de servicio, para lo cual se describen las ventajas que se tienen en la industria para mejorar la productividad.

- La plancha puede ser de material de fotopolímero o caucho. Teniendo la ventaja que la producción poder puede ser constante.
- El tambor central permite hasta un máximo de impresión de 10 colores para un mismo diseño, dando como resultado una inimaginable posibilidad de combinaciones de colores.

- Dependiendo de los requerimientos de los clientes, la impresión se puede realizar sobre películas no absorbentes y absorbentes.
- Se puede imprimir varias bobinas de películas, debido a los sistemas automáticos que se incluyen dentro del desbobinador y bobinador.
- Se pretende satisfacer los distintos requerimientos de los clientes, ofreciendo una amplia gama de tamaños de impresiones y colores.
- Para la impresión son utilizadas las tintas de secado rápido que ofrecen corridas mucho más grandes en un tiempo reducido.
- Dependiendo del modelo se pueden realizar corridas de impresiones cortas con rentabilidad (abril, 2019)

7.4. Tipos de tintas utilizadas

En la industria flexográfica se utilizan diferentes tintas según el tipo de producto a realizar, de acuerdo con las especificaciones técnicas de cada empaque, para lo cual se describen las tintas empleadas.

- Tintas en base disolvente: están formadas por aditivos, resinas, disolventes y pigmentos de color. Para obtener la viscosidad adecuada en la tinta se emplean los disolventes para que la impresión sea la adecuada y estos pueden ser del tipo orgánica o de agua (Benedicto, 2016)

Las características que debe tener son las siguientes:

- En todo momento se debe disolver con las resinas sin ningún problema.
 - La evaporación debe ser progresiva con el objetivo de que se seque sin causar problemas de rechazos.
 - Ningún elemento mecánico de la impresora debe verse afectado.
- Tintas en base acuosa: está formada por aditivos, pigmentos de colores y resinas siendo su disolución en agua. Este tipo de tintas nace de la necesidad y responsabilidad ambiental de ya no tener emisiones de solventes en la atmósfera. Las investigaciones han desarrollado que no genera contaminación industrial. (Acuosa, 2014)
 - Tiempo largo del secado de las tintas, esto hace poco rentable la producción de la impresora.
 - Se tiene una mayor viscosidad en la tinta y causa una mayor tensión en la película y forma espuma.
 - Genera problemas con todos los utensilios que se usan para la impresión, debido a que se deben limpiar inmediatamente porque al secarse la tinta, la operación de limpieza se complica.

- Tintas Ultravioleta (UV): no utilizan disolventes evitando la emisión de gases a la atmósfera y presentan las siguientes características importantes (Benedicto, 2016)
 - Buena calidad en las impresiones y tiempos rápido de secado.
 - El secado es por proceso fotoquímico.
 - Presenta un tiempo largo para poder realizar la limpieza de hasta 24 horas después de haber utilizado los equipos, consiguiendo tiempo para realizar otras actividades durante el proceso de impresión.

7.5. Eficiencia energética en impresoras flexográficas

Se describe los elementos referentes a la eficiencia energética en impresoras flexográficas, tomando en cuenta los factores de riesgos y los paros no programados.

- Disponibilidad: se define como la habilidad de un equipo para cumplir con la función requerida, para lo cual fue construido en un tiempo determinado. Y la probabilidad que se mide, es que el equipo se encuentre en condiciones adecuadas para trabajar sin presentar algún tipo de falla durante el tiempo de operación requerido por la producción (Penabad, Iznaga, Rodríguez y Cazañas, 2016)

La disponibilidad de la impresora flexográfica puede disminuir su eficiencia debido a demoras por la falta de material.

- Por averías: los fallos inesperados durante la operación del equipo o durante los mantenimientos preventivos, son los causantes de los tiempos perdidos. El indicador para esta falla empieza a contar al momento que no se puede operar la maquinaria por la detección de una falla técnica (Acuosa, 2014)
- Por esperas: el tiempo perdido por esperas puede derivarse de varios factores que deben analizar a detalle según sea conveniente. Puede tener lugar por la entrega a mantenimiento o después de un mantenimiento programado. También registra tiempos perdidos por parte de la operación como almuerzo, falta de material, de insumos, y de programación (Villamar. 2015)

Ecuación de disponibilidad de un equipo:

$$Disponibilidad = \frac{Tiempo\ disponible - tiempo\ perdido}{Tiempo\ disponible} * 100 \quad Ec. 1$$

7.5.1. Rendimiento

Describe el porcentaje de cumplimiento de objetivos y velocidades de la impresora. Realiza la comparación de la velocidad a la cual debería estar produciendo el equipo con la velocidad a la que trabaja normalmente. Y la diferencia se basa en las pérdidas por velocidad que se clasifican de la siguiente manera (Acuosa, 2014)

- Microparos: son causadas por factores internos y externos. Siendo generalmente problemas internos del equipo que traen como consecuencias; variaciones en las velocidades de trabajo, debido a los

constantes arranques. Este tipo de fallas empiezan a empeorarse al tener equipos con tecnologías obsoletas que son muy sensibles en sus partes eléctricas y una pequeña variación en el proceso los sensores paran inmediatamente los equipos (Benedicto, 2016)

- Velocidad reducida: se debe a que el equipo cuenta con una velocidad teórica que generalmente se toma de los manuales de los equipos que describe un problema, porque ese dato de velocidad está sobre condiciones perfectas de operación. Y se compara con la velocidad práctica que generalmente está determinada de manera experimental por el departamento de mantenimiento (Villamar, 2015)

Ecuación de rendimiento de un equipo:

$$Rendimiento = \frac{Total\ kilos\ producidos}{Tiempo\ real\ de\ operación * producción\ ideal.} * 100 \quad Ec. 2$$

7.5.2. Calidad

La calidad de los productos forma un punto a mejorar en todas las maquinarias de producción, porque constantemente se fabrican productos que no cumplen con parámetros de calidad, que son establecidos por el cliente y el departamento de calidad. Teniendo pérdidas por los motivos siguientes (Penabad, Iznaga, Rodríguez y Cazañas, 2016)

- Desperdicio: se define como los productos que están fuera de los parámetros previamente establecidos.

- Revisión: considera la evaluación de productos que no cumplieron con el 100 % de las especificaciones previamente trazadas, pero por medio de un reproceso que puede ser otra corrida para imprimir alguna parte o hablar directamente con el cliente para que realice pruebas y determine si el producto le funciona. Cuando son errores pequeños como algún tono del color o corrimiento menor de algún impreso, puede darse por bueno, pero con la condición de que puede ser rechazado por el cliente. Se recomienda que la revisión de productos no conformes no sea una práctica constante, debido a que los clientes en muchas ocasiones aceptan dicho error, pero de ser repetitivo buscan otro proveedor que esté comprometido con la calidad de los productos que ofrece (Villamar, 2015)

Ecuación de calidad de un producto:

$$Calidad = \frac{Producción\ total - producción\ defectuosa}{Producción\ total} * 100 \quad Ec. 3$$

La eficiencia energética de una impresora flexográfica se puede obtener al relacionar las variables de recurso, utilidad y particularidad por medio del producto de sus porcentajes. El resultado obtenido se puede comparar por medio de una tabla de valores para determinar la eficiencia del equipo, del resultado de la ecuación se derivan los respectivos planes de acción que buscan la eliminación de las distintas causas raíz que impiden que la producción de la máquina sea rentable (abril, 2019)

Ecuación de eficiencia energética de una impresora flexográfica

$$Eficiencia\ energética = Disponibilidad\ (\%) * Rendimiento\ (\%) * Calidad\ (\%)$$

Ec. 4

Tabla I. **Clasificación de eficiencia energética**

% de eficiencia	Competitividad	Comentarios
<65%	Inaceptable	Grandes pérdidas económicas
65<%<75	Regular	Aceptable, en mejora
75<%<85	Aceptable	Continuar con la mejora
85<%<95	Buena	Valores a nivel mundial
>95%	Excelente	Excelencia energética

Fuente: Iriarte (2015). *Aplicación del SMED para incrementar la productividad en el cambio de formato de la impresora flexográfica*. Consulta: 15 de octubre de 2020. Recuperado de https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/25594/Iriarte_GJ.pdf?sequence=1&isAllowed=y

7.6. Dispositivos de movimiento inteligente

Se describe los dispositivos de movimiento inteligente, por medio de controladores de servomotor, motores paso a paso, entre otros. Utilizados en las industrias de empaques, litografía.

7.6.1. Controladores de servomotores

Todo servomotor se define como: un motor que sigue conservando el mismo concepto tradicional de convertir la energía eléctrica en mecánica, con la diferencia que produce un torque requerido para trasladar la fuerza a la posición programada o solicitada por el proceso productivo. Los que más demanda tienen en la industria, son de corriente alterna que tiene internamente un estator segmentado que produce una mayor potencia que los motores tradicionales sin considerar la precisión de los movimientos (Fernández, Contreras, Herrera y Oliveira, 2017)

Un servomotor internamente tiene varios imanes permanentes, que tienen como función proporcionar mayor densidad de flujo, con el objetivo de mejorar el rendimiento del motor. Una de las principales ventajas de un servomotor, es que cada día se van mejorando los procesos y son más eficientes. Y es por eso que se redujo el tiempo de posicionamiento, debido a la disminución de la inercia por la mecánica del rotor. Esto ha revolucionado la industria obteniendo velocidades en el rotor de has 4,500 rpm (Rodríguez y Fernández, 2017)

- Las principales características se refieren:
 - Por elevado con una menor masa del motor.
 - Por su estructura, tienen bajo mantenimiento.
 - Exactitud para controlar las variables de velocidad y posición.
 - Se obtienen velocidades muy elevadas con la programación.
 - Internamente las mermas en el rotor son pequeñas.
 - Control total sobre la inercia en los motores.
 - Tienen un índice de protección alto (Agudelo, 2016)

La función primordial es fiscalizar todo tipo de sistema que requiera movimientos precisos y rotacionales. La tarjeta de control permite realizar algo muy característico en este tipo de motores, que el poder mover su eje con cada pulso que recibe, teniendo rangos desde 90 hasta 1.8 grados en función de la aplicación y programación realizada (Rivera, 2018)

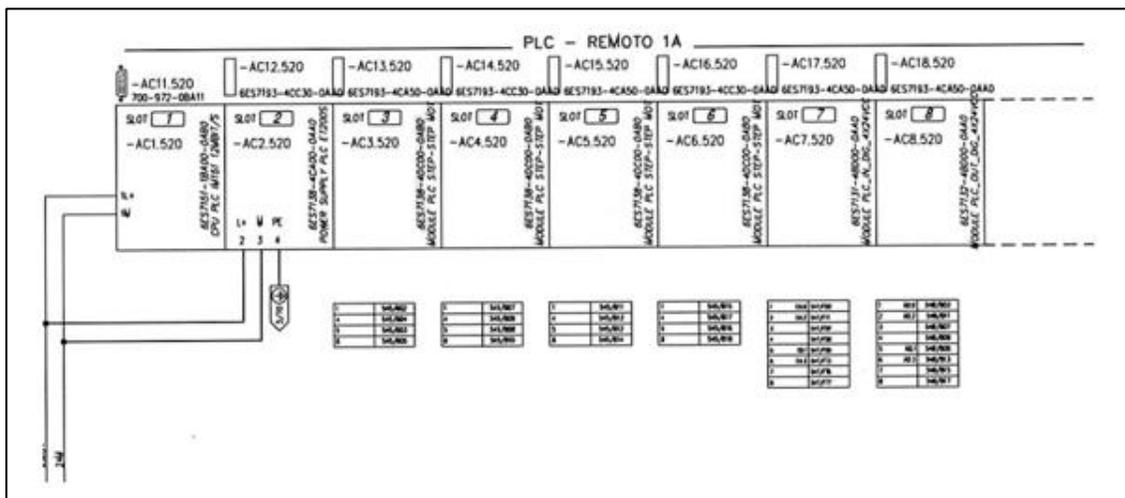
Otra de las características principales, es tener la función de quedar enclavado o fijo en una posición previamente programada y no moverse hasta recibir un nuevo pulso con otra posible posición. También al momento de no recibir ningún tipo de pulso, el eje queda completamente libre a la espera de algún pulso para posicionarse dentro de lo programado (Rodríguez y Fernández, 2017)

- Se precisa las cuantificaciones básicas de un motor paso a paso:
 - Voltaje: representa la variable de voltaje que realiza el trabajo para este tipo de motor. Por lo habitual este valor de voltaje, viene impreso en la placa característica de todo motor y de no tener la placa, este valor se puede consultar en la ficha técnica del equipo. Dependiendo de la aplicación puede llegar a necesitar un voltaje por encima del nominal para vencer el reposo y la carga inicial en el eje, trayendo como problema el calentamiento y pérdidas por efecto Joule.
 - Resistencia eléctrica: los bobinados presentan como toda bobina una resistencia que se determina por Ley de Ohm, la corriente que atraviesa el motor. La corriente en los bobinados determina el torque del motor de acuerdo a su respectiva curva para determinar su máxima eficiencia.

- Grados por paso: es la característica más importante a la hora de elegir un motor de este tipo, debido a que determina la aplicación que tendrá. Se detallan los grados que girará el eje para cada aplicación (Vivar y López, 2013)
- Los motores paso a paso rigen su primicia de trabajo igual al de los motores de corriente continua, basando sus fuerzas que ejercen por el campo electromagnético que hace atravesar una corriente, pasando de las bobinas en el estator. Al momento de obtener una excitación en el estator, se forman los polos norte y sur, produciendo un campo magnético inconstante en el tiempo y la búsqueda del equilibrio magnético provocará un constante movimiento. Y esto se debe a que cuando los polos alcanzan el equilibrio magnético previsto, el estator ya ha cambiado la orientación de los polos (Rivera, 2018)
- Aplicaciones de los motores paso a paso
 - Impresoras
 - Robótica
 - Relojes eléctricos
 - Control remoto
 - Posicionamiento de piezas (Vivar & López, 2013)
- Ventajas:
 - Alta compatibilidad con todos los controladores
 - Los resultados son muy viables en circuitos de lazo abierto
 - Alta precisión de posicionamiento

- Coste mantenimiento reducido
- Circuitos sencillos (Rivera, 2018)
- Desventajas:
 - Generalmente por la falta de control se generan resonancias que pueden dañar los equipos.
 - Al estar trabajando a revoluciones altas los pasos se pierden, causando problemas con las secuencias (Vivar y López, 2013)

Figura 4. Diagrama eléctrico de controladores de motores paso a paso



Fuente: BIELLONI (2001). 04005A/CBD. RBF.

7.6.3. Variadores de frecuencia

Los variadores de frecuencia se definen como un dispositivo que ajusta su frecuencia, debido a que por medio del sistema electrónico interno tiene un control sobre la variable velocidad. Su objetivo principal, controla la variable presteza de un motor de CA por medio de la asiduidad del sistema (Flores y Dávila, 2009).

La aplicación de los variadores es indefinida, que ha logrado que la industria sea tan eficiente y diversa como lo es hasta el día de hoy. El principio de controlar y programar la variable de la frecuencia hace de este dispositivo un excelente agente para los distintos proyectos.

En el análisis de los motores síncronos la velocidad se puede calcular de la siguiente manera:

Ecuación de velocidad síncrona:

$$N = \frac{120 * f}{P} \quad \text{Ec. 5}$$

Para un motor asíncrono se calcula de la siguiente manera:

Ecuación de velocidad asíncrona:

$$N = \frac{120 * f * (1 - s)}{P} \quad \text{Ec. 6}$$

Donde:

N = velocidad mecánica

f = frecuencia de alimentación

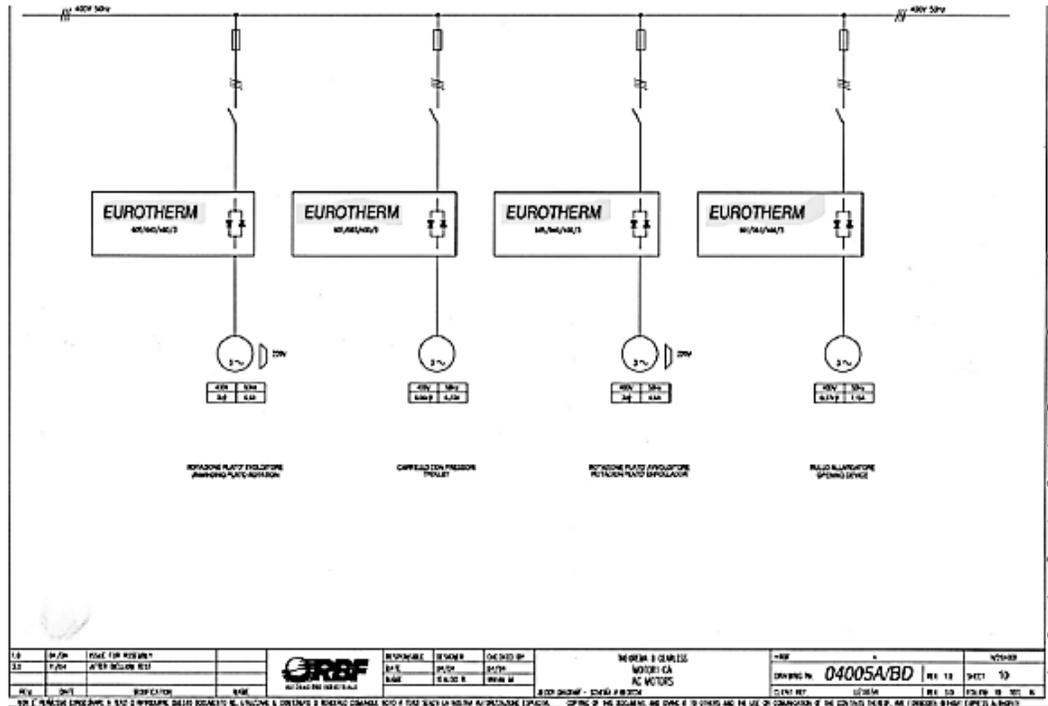
s = deslizamiento

P = número de polos

Al analizar las ecuaciones anteriores, se pueden observar que las variables de frecuencia y velocidad tiene una relación directa, que afecta a todo el sistema que al realizar un aumento de frecuencias genera, por lo consiguiente un aumento en la velocidad de giro del motor.

Y también al reducir de alguna manera la frecuencia la velocidad tiende a bajar de manera proporcional, aunque se debe considerar que el utilizar variadores aumenta los armónicos dentro de las redes eléctricas debido a la electrónica de potencias que utilizan sus circuitos eléctricos. Para poder elegir el variador que mejor supla las necesidades se debe enfocar en la potencia nominal de los dispositivos que controlará.

Figura 5. Diagrama eléctrico de variadores EUROTHERM



Fuente: BIELLONI (2001). 04005A/BD. RBF.

7.7. Red de comunicación de datos

Se hace una descripción de los elementos de red de comunicación de datos, utilizados para el control de procesos de manufactura, que permiten llevar un registro de las operaciones de servicio y mantenimiento.

7.7.1. Red Profibus

Para describir una red Profibus se indica que es un protocolo normalizado en IEC 61158/61784, que es clasificado como uno de los sistemas más potentes en los bus del tipo campo por tener características de robustez y tiempos cortos

de respuesta en señal. Un sistema con Profibus tiene una amplia gama de aplicaciones para la transmisión/recepción de datos, satisfaciendo los requerimientos de la industria (Fonseca y Játiva, 2018)

Para todo proceso de automatización, son utilizados diferentes tipos de redes de comunicación que son muy específicos para cada aplicación y pueden ser sistemas muy complejos que necesitarán un mayor control o simplemente controlar una variable. Para funciones muy complejas, es necesario dividir el proceso dentro de las redes de comunicación para ir logrando los resultados por etapas y no pasar a la siguiente sin el cumplimiento de la anterior.

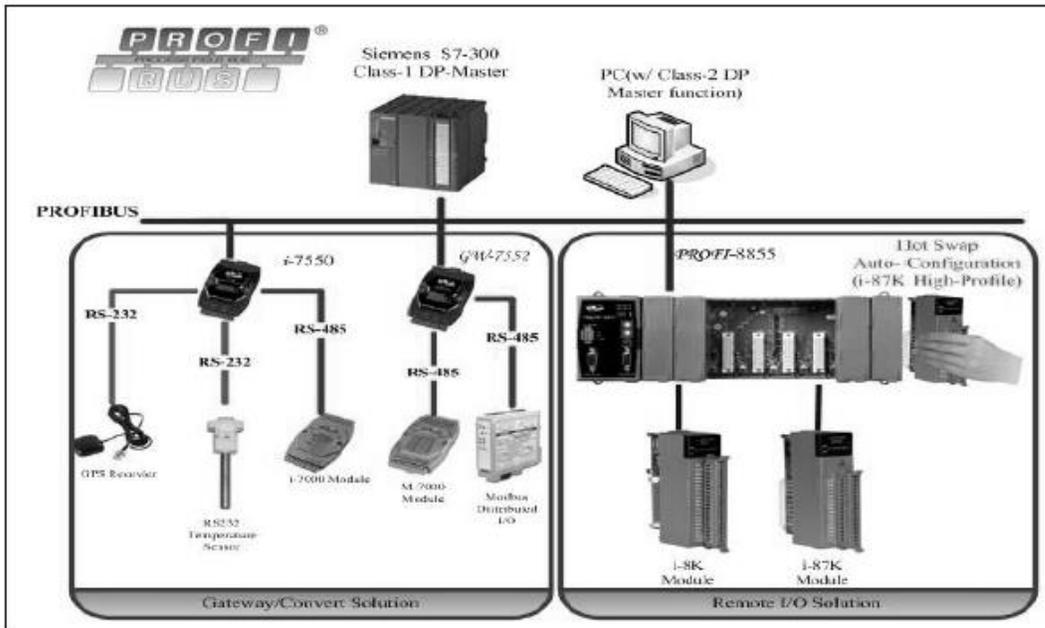
Cuando los sistemas del control de la automatización son complejos, es necesario de crear un sistema que cumpla con las características de ser descentralizado para desarrollar sus funciones sin problemas. Durante mucho tiempo varios de los principales fabricantes de dispositivos automáticos, buscaban la descentralización de sistemas muy complejos. De dicha necesidad de la descentralización en 1991 regido por la Norma DIN 19245, se lleva a cabo la creación del sistema Profibus, siendo sus iniciales PRO = *process*; FI = *field*; BUS, cumpliendo con el objetivo específico de lograr la comunicación entre las redes de los dispositivos a automatizar de nivel de campo (Hurtado, 2014)

Luego de la creación de la Red Profibus, surge todo el complemento de dispositivos que se unirán dentro del sistema de automatización. Y se crearon dispositivos compatibles como: actuadores neumáticos, PLC, pantallas HMI, PC como entrada de variables, entre otros. Todos los dispositivos se conectan a través de un bus común que ha sido unificado logrando compartir toda la comunicación dentro de un solo canal recibiendo y enviando información del proceso (Corzo y Rodríguez, 2013)

Para lograr la comunicación dentro de la red Profibus, cada uno de los equipos deben cumplir ciertas características brindadas por los fabricantes y normas de comunicación. Actualmente se tienen problemas entre la comunicación de protocolos, pero ya se está trabajando en la unificación de protocolos para lograr mayores aplicaciones en la industria y no depender de un solo fabricante. Aunque se tiene el conocimiento para llevar este proyecto a cabo, los intereses económicos de los fabricantes no han logrado la implementación en los diferentes sistemas de comunicación (Fonseca y Játiva, 2018)

- Características de una red Profibus
 - Se caracteriza por ser una red de comunicación muy robusta de campo abierto, dentro de las funciones más solicitadas para este sistema son las respuestas de información en corto tiempo, seguras y sin interrupciones dentro de cualquier proceso del sistema.
 - Con sistemas complejos permite utilizar un sistema Multi-Maestro, que tiene como finalidad permitir operaciones conjuntas dentro del mismo sistema de automatización.
 - Cuenta con mucha flexibilidad y facilidad para realizar el montaje, operación y configuraciones (Villacañas, 2019)

Figura 6. **Conexión del protocolo Profibus**



Fuente: Villacañas (2014). *Integración de PLC con modelos virtuales de plantas industriales*.

Consulta: 20 de octubre de 2020. Recuperado de <https://e-archivo.uc3m.es/handle/10016/30315#preview>

Para una red Profibus, es un sistema del tipo convencional se caracteriza por tener los sistemas SCDs (Sistemas de Control Directo), donde se tiene un control limitado de las tareas por ser céntrica y tiene la desventaja que los equipos se conectan y prueban uno a uno, limitando la cantidad de dispositivos y procesos automáticos a realizar.

En la industria actual los requerimientos cada día son más exigentes y los procesos industriales son cada día más complejo. Para suplir las exigencias, se necesitan conexiones y dispositivos más robustos para lograr cumplir y ejecutar los procesos programados. Por las exigencias de estos procesos los sistemas

centralizados se dieron por ineficientes y se trasladaron a segundo plano, creando en los nuevos sistemas una información que da una respuesta satisfactoria y confiable. El sistema Profibus se puede clasificar dentro de los protocolos industriales que buscan suplir la necesidad de obtener información en tiempo real (Fonseca y Játiva, 2018)

- Ventajas de la Red Profibus:
 - Posee un sistema robusto y abierto.
 - Tiempos cortos en respuesta de información.
 - Se puede utilizar en múltiples topologías de red.
 - Fácil instalación, configuración y mantenimiento.
 - El sistema es muy seguro.
 - Información en tiempo real del nivel de campo.
 - Se puede expandir el sistema sin problema.
 - Los ruidos dentro del sistema son casi nulos.
 - No importa el proceso, la comunicación entre dispositivos es inmediata (Corzo y Rodríguez, 2013)

El sistema Profibus está orientado al modelo OSI, por tal motivo al referirse a la arquitectura de la red tiene como base las normas internacionales como la ISO 7498, donde se definen diversas características muy específicas del modelo OSI (Fonseca y Játiva, 2018)

7.7.2. Control lógico programable

Se define como un dispositivo electrónico y se abrevia PLC. Es el dispositivo encargado de ejecutar cada una de las líneas de programación e instrucciones del sistema retroalimentando el sistema a cada cierto tiempo. Este dispositivo electrónico cuenta con la capacidad de tener una memoria programable en el

sistema, dejando a la imaginación la cantidad de instrucciones que puede ejecutar. En todo proceso automático debe hacer como centro de control un PLC, de lo contrario las funciones, espacio y equipos son limitadas para los procesos (Balcells, Romeral y Martínez, 1997)

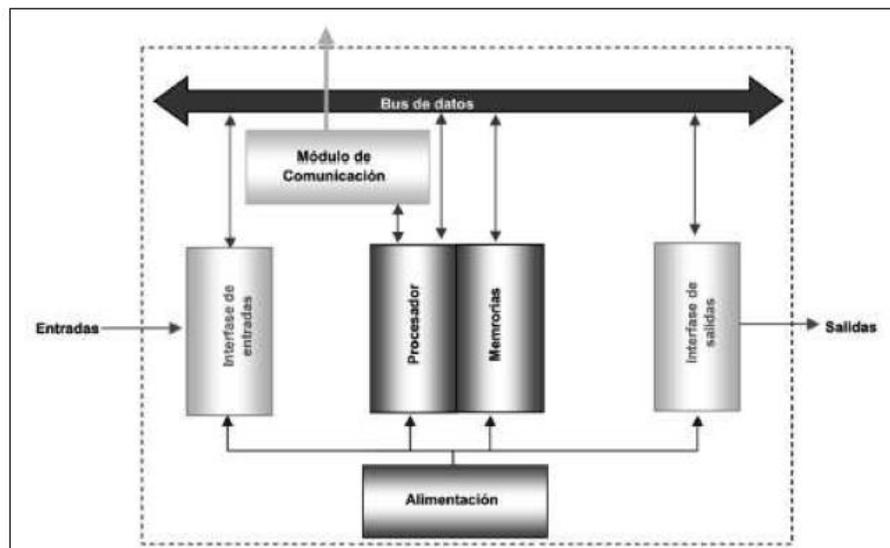
La mayoría de estos controladores, son instalados en procesos industriales por las diversas funciones que realiza, el tiempo de respuesta en recibir/enviar la información es inmediata, logrando la eficiencia y productividad de los equipos que controla.

El PLC ha revolucionado las industrias en la actualidad, es un dispositivo con características que lo hacen especial por su extenso campo de aplicaciones y problemas que puede resolver. Por la complejidad del dispositivo existen continuamente actualizaciones en su hardware y software para optimizar el trabajo que realiza y suplir las necesidades de la industria (Villacañas, 2019)

- Aplicaciones de un PLC
 - Instalación en paneles con reducido espacio.
 - Durante los procesos pueden cambiar en intervalos de tiempo.
 - Sistemas con procesos variables en todas las etapas.
 - Para usar en señalización y controlar procesos.
 - Se pueden controlar todo lo de seguridad dentro de la planta.
 - Instalaciones que demandan maniobras en tiempos específicos.
 - Para sistemas robustos y de gran escala.
 - Se puede programar de manera centralizada.
 - Maniobras para equipos que necesitan ser automatizadas (Fonseca y Játiva, 2018)

- Estructura de un PLC: todo controlador lógico programable se encuentra formado por una estructura básica cómo la que se detalla a continuación.
 - CPU
 - Memoria
 - Interfaz de entrada
 - Interfaz de salida
 - Alimentación
 - Módulos de comunicación (Yumba y Landivar, 2017)

Figura 7. Estructura del PLC



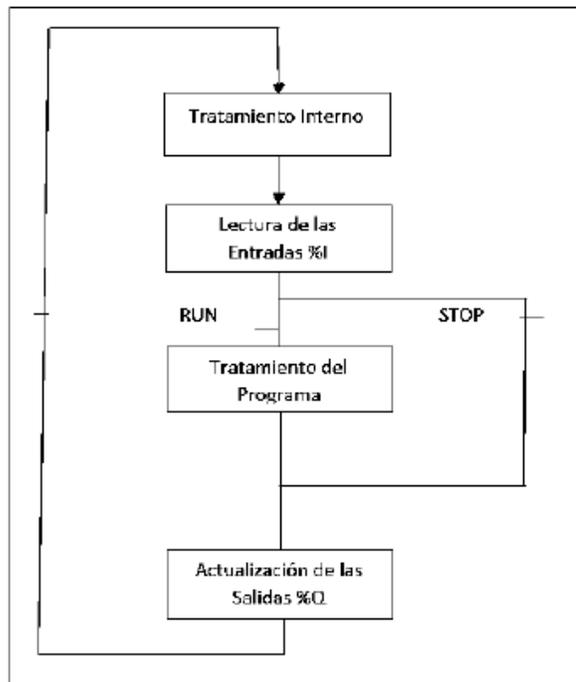
Fuente: Yamba y Landivar (2017). *Configuración y Programación del PLC S7-1200 en comunicación PROFIBUS con el UNIDRIVE SP para uso Industrial*. p. 11.

- Funcionamiento del PLC: la característica principal del funcionamiento del PLC es de forma cíclica y secuencial, dando como resultado operaciones continuas y repetidas a gran velocidad, que depende del tiempo de barrido que indica el lapso en que el PLC completa un ciclo (Villacañas, 2019)

A continuación, se presenta la secuencia típica del barrido de un PLC:

- Autodiagnóstico
- Asimilación del reconocimiento de las variables de entradas
- Lectura y cumplimiento del programa PLC
- Curiosidad de las comunicaciones
- Reajuste del registro de egreso (Balcells, Romeral y Martínez, 1997)

Figura 8. **Ejecución del PLC**



Fuente: Yamba y Landivar (2017). *Configuración y Programación del PLC S7-1200 en comunicación PROFIBUS con el UNIDRIVE SP para uso Industrial*. p.17.

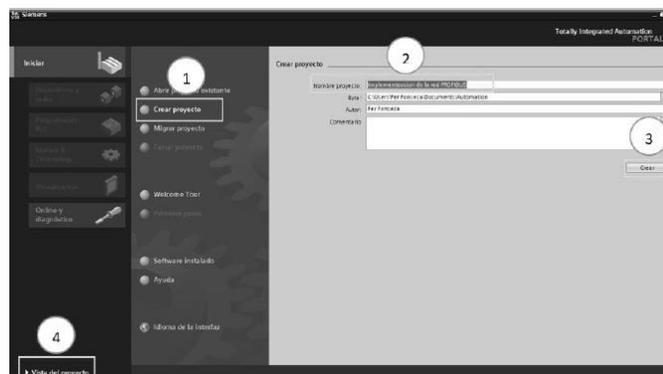
7.8. Programación

La programación se puede realizar por medio de TIA, portal que es una herramienta de fácil uso en las industrias de manufactura, en el siguiente apartado se presenta la descripción general.

7.8.1. Entorno de programación TIA Portal

Siemens brinda una herramienta única de su marca y el software TIA Portal, en el cual se pueden programar todas las distintas funciones que debe realizar el sistema programado proporcionando confiabilidad en la ejecución de todos los procesos requeridos proyectando una interfaz muy gráfica y amigable con los usuarios y teniendo la opción de cambiar la programación en el momento que se necesite (Villacañas, 2019).

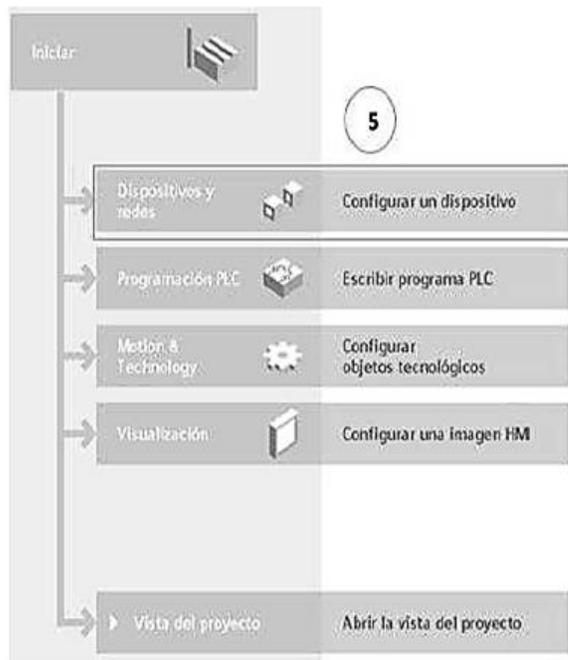
Figura 9. Creación de nuevo proyecto



Fuente: Fonseca y Játiva (2018). *Implementación de una red Profibus para el control de una banda transportadora en el proceso de calentamiento y reactivación del pegamento en el caucho, mediante un sistema seguidor de temperatura y extracción de gases*. Consulta: 25 de octubre de 2020. Recuperado de <http://dspace.espech.edu.ec/bitstream/123456789/9210/1/108T0253.pdf>

123456789/9210/1/108T0253.pdf

Figura 10. **Configuración de dispositivos**



Fuente: Fonseca y Játiva (2018). *Implementación de una red Profibus para el control de una banda transportadora en el proceso de calentamiento y reactivación del pegamento en el caucho, mediante un sistema seguidor de temperatura y extracción de gases*. Consulta: 25 de octubre de 2020. Recuperado de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/9210/1/108T0253.pdf>

Luego de haber creado el nuevo proyecto, se puede entrar a la visualización donde se encuentra el menú que tiene varias herramientas de ayuda, con el fin de añadir y configurar los distintos dispositivos electrónicos que se van a utilizar en el programa solicitado.

El PLC con el que se desea trabajar debe tener la capacidad de procesar un gran número de variables de entrada y salida, como sea requerido por la aplicación. Teniendo en consideración que en cualquier momento se cuenta con

la facilidad de agrandar la capacidad de las funciones previamente programadas por medio de los módulos de expansión (Balcells, Romeral y Martínez, 1997).

El sistema Profibus, permite conectar en red con diferentes dispositivos de recolección de campo y también como sistema de bus, consiguiendo con eso permitir la automatización de cualquier proceso que sea solicitado en la industria, estando comprometidos con la optimización y mejoramiento de tiempos en el proceso, alcanzando una velocidad para transmitir datos de 9.7kbits/s a 12Mbits/s. (Villacañas, 2019)

7.9. Topología de redes de comunicación

Se describen los componentes fundamentales de una red, los cuales son el servidor, los terminales, los dispositivos de red y el medio de comunicación. Se presenta una descripción de los conceptos fundamentales.

7.9.1. Definición

Se define como el arreglo que puede ser de la forma lógica y física, en donde se describen los dispositivos de una red de comunicación y la forma es que se interconectan, es por medio de la comunicación de datos. La topología que se maneja en red fija como se anuncian los aparatos electrónicos entre sus puntos. Dependiendo de la aplicación dentro de la industria se derivan estudios donde la comunicación asocia sus nodos. (Fonseca y Játiva, 2018)

Las principales características de una topología es determinar la cifra de nodos que se acoplarán en el sistema, cómo es el uso de acceso, de cuánto es el lapso de respuesta, prontitud con la que se procesa la pesquisa, coste de la implementación y los tipos de aplicaciones.

Para las atenciones de la industria se tiene la opción de asumir un razonamiento físico o lógico. Cuando se habla de la reflexión física hace referencia al esbozo de la red de comunicación que debe incluir el establecimiento y emplazamiento de cables y dispositivos. Para la lógica tiene como referencia al método de cómo se traslada la información del proceso mediante las entradas y salidas de los nodos de la red de comunicación (Yumba y Landivar, 2017).

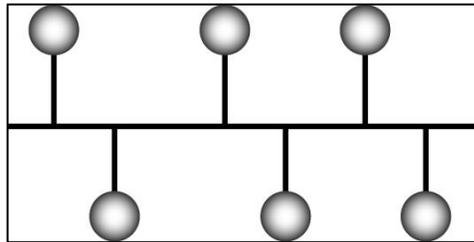
7.9.2. Clasificación

La topología de red se define como el mapa físico o lógico de una red para intercambiar datos. En otras palabras, es la forma en que está diseñada la red, sea en el plano físico o lógico, para lo cual se presenta la clasificación de redes.

7.9.2.1. En bus

Para la topología en Bus es caracterizada por un conducto principal con los conectores de red de comunicación interrelacionados al Bus principal y se considera como una topología pasiva, porque al momento de transmitir información no debe de haber algún otro dispositivo del Bus, también transmitiendo datos. Asiduamente se utiliza el cable tipo coaxial como forma de aviso dentro del sistema (Balcells, Romeral y Martínez, 1997)

Figura 11. **Configuración tipo Bus**



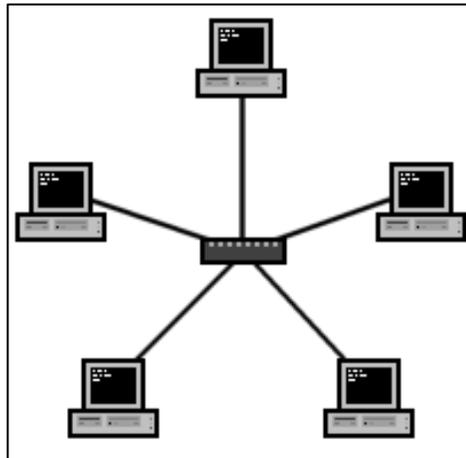
Fuente: Balcells, Romeral y Martínez (1997). *Autómatas programables*.

Consulta: 22 de octubre de 2020. Recuperado de
[https://books.google.com.mx/books?id=xfSjADge70C
&printsec=copyright#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.mx/books?id=xfSjADge70C&printsec=copyright#v=onepage&q&f=false)

7.9.2.2. En estrella

Los conectores de la red se conectan a componente central que es el Hub. Esta configuración de red sigue permaneciendo como tipo pasiva y maneja un cable de conexión para cada dispositivo electrónico, con la ventaja que es muy fácil de expandir la capacidad con tener escalas aprovechables en el Hub. La desventaja que destaca en esta configuración es la centralización de la información de la comunicación y si el Hub da problemas, se cae y queda sin información (Corzo y Rodríguez, 2013)

Figura 12. **Configuración estrella**

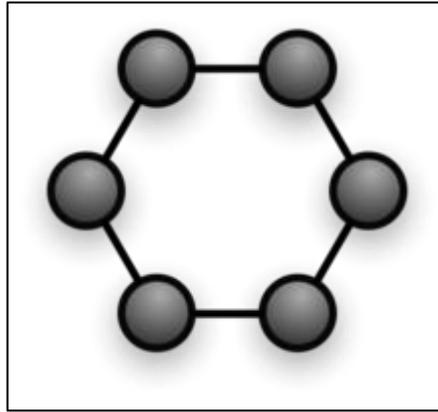


Fuente: Corzo y Rodríguez. (2013). *Red Profibus DP aplicada mediante el PLC siemens S7-300*. Consulta: 22 de octubre de 2020. Recuperado de file:///C:/Users/SERVIDOR/Downloads/digital_20799.pdf

7.9.2.3. En anillo

Para una red que utiliza una topología del tipo anillo hace que se conecten todos los aparatos electrónicos de la red de comunicación detrás de cada uno (Villacañas, 2019).

Figura 13. **Configuración en anillo**



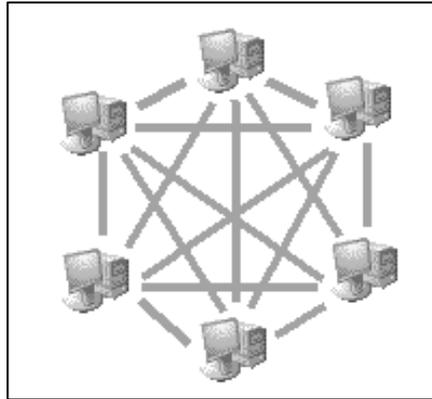
Fuente: Villacañas (2019). *Integración de PLC con modelos virtuales de plantas industriales*.

Consulta: 25 de octubre de 2020. Recuperado de <https://e-archivo.uc3m.es/handle/10016/30315#preview>

7.9.2.4. En malla

En la configuración tipo malla, se utilizan enlaces entre los diversos dispositivos conectados, tiene la ventaja que cada dispositivo se encuentra conectado a todos los elementos del sistema, en otras palabras, todos están conectados con todos. Uno de los inconvenientes de esta estructura es que requiere mucho cable y entra entre las redes con dificultad (Balcells, Romeral y Martínez, 1997).

Figura 14. **Configuración en malla**



Fuente: Rodríguez y Fernández (2017). *La casa inteligente*. p. 32.

7.9.2.5. Híbrida

Para las estructuras híbridas se describen como la mixtura de topologías dentro una misma red de comunicación. Actualmente el razonamiento de árbol y también la escalonada son ejemplos de híbridas, aunque muchas veces pueden darse combinaciones según sea el estudio (Villacañas, 2019).

8. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y FORMULACIÓN DE PREGUNTAS

ORIENTADORAS

OBJETIVOS

RESUMEN DE MARCO METODOLÓGICO

INTRODUCCIÓN

1. ANTEDECENTE DE LA INVESTIGACIÓN

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Impresión flexográfica

2.1.1. ¿Qué es?

2.2. Tipos de impresoras

2.3. Ventajas de la impresión flexográfica

2.4. Tipos de tintas utilizadas

2.5. Eficiencia energética en impresoras flexográficas

2.5.1. Disponibilidad

2.5.2. Rendimiento

2.6. Dispositivos de movimiento inteligente

2.6.1. Controladores de servomotores

2.6.2. Motores paso a paso

2.6.3. Variadores de frecuencia

- 2.7. Red de comunicación de datos
 - 2.7.1. Red Profibus
 - 2.7.1. Control lógico programable
- 2.8. Programación
 - 2.8.1. Entorno de programación TIA PORTAL
- 2.9. Topologías de comunicación
 - 2.9.1. Definición
 - 2.9.2. Clasificación
 - 2.9.2.1. En Bus
 - 2.9.2.2. En estrella
 - 2.9.2.3. En anillo
 - 2.9.2.4. En malla
 - 2.9.2.5. Híbrida

- 3. RECOLECCIÓN DE DATOS
 - 3.1. Diagrama de conexión del Analizador de Redes e3.
 - 3.2. Datos de consumo y productividad de la impresora
 - 3.3. Descripción de variables a medir
 - 3.4. Diagrama de conexión de *ProfiTrace* y *ProfiCore*
 - 3.5. Conexión para recolección de datos de la *Red Profibus* del sistema

- 4. ELABORACIÓN DE TABLAS DE VARIABLES INICIALES
 - 4.1. Tablas de Voltajes
 - 4.1.1. Voltaje principal de alimentación
 - 4.1.2. Voltaje de control
 - 4.1.3. Voltaje en los nodos de la red
 - 4.1.4. Armónicos
 - 4.2. Tablas de Corrientes

- 4.2.1. Alimentador principal
 - 4.2.2. Armónicos
 - 4.3. Tabla de Flicker
 - 4.4. Tablas de potencias
 - 4.4.1. Potencia aparente
 - 4.4.2. Potencia activa
 - 4.4.3. Potencia reactiva

- 5. INTERPRETACIÓN DE GRÁFICOS DE FUNCIONAMIENTO
 - 5.1. Análisis de curva de voltaje
 - 5.2. Análisis de curva de corriente
 - 5.3. Interpretación de armónicos en voltaje y corriente
 - 5.4. Análisis de voltajes en los nodos
 - 5.5. Voltajes de estabilización

- 6. PROPUESTA DE ESTABILIZACIÓN DEL SISTEMA
 - 6.1. Voltaje de señal
 - 6.2. Comparación de voltajes
 - 6.3. Conexión de variadores y motores paso a paso
 - 6.4. Modificación del código principal de la impresora

- 7. PROYECCIÓN DE EFICIENCIA ENERGÉTICA
 - 7.1. Consumo actual de la impresora flexográfica
 - 7.2. Consumo de los dispositivos de movimiento inteligente
 - 7.3. Cuadro comparativo de consumo de energía
 - 7.4. Análisis financiero para el retorno de la inversión

- 8. RESULTADOS

8.1. Presentación de resultados

8.2. Discusión de resultados

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS

ANEXOS

9. METODOLOGÍA

A continuación, se presenta la tabla II con la descripción de las variables que serán evaluadas durante el estudio propuesto.

Tabla II. **Tabla de variables**

Variable	Definición	Definición operacional
Armónico	Frecuencias múltiplos de la frecuencia fundamental de trabajo del sistema y cuya amplitud va decreciendo conforme aumenta el múltiplo.	Se medirá en porcentajes de corriente y voltaje por medio de un analizador de redes.
Corriente	Es el flujo de carga eléctrica que recorre un material. Se debe al movimiento de las cargas en el interior de este. Al caudal de corriente se le denomina intensidad de corriente eléctrica.	Se medirá en amperios (A), se empleará el analizador de redes para obtener las distintas corrientes.
Energía eléctrica	Es el producto de la potencia de un dispositivo por el tiempo empleado.	Su unidad de medida es KWh, y las mediciones se obtienen por medio del analizador de redes.
Frecuencia	Es el número de repeticiones por unidad de tiempo de cualquier evento periódico.	Unidad de medida el Hertz (Hz) y se medirá por medio de un analizador de redes.
Porcentaje	Fracción de 100 partes iguales.	Se utilizará fórmula matemática para determinar el porcentaje.
Potencia	Es la proporción por unidad de tiempo, o ritmo, con la cual la energía eléctrica es transferida por un circuito eléctrico, es decir, la cantidad de energía eléctrica entregada o absorbida por un elemento en un momento determinado.	Se medirá en Watts (W), y empleará el analizador de redes para obtener los datos.

Continuación tabla II.

Tiempo	Período determinado durante el que se realiza una acción o se desarrolla un acontecimiento	Se emplea las medidas de minutos tomadas con un cronómetro.
Voltaje	Es la diferencia de potencial (también denominada voltaje). Es una magnitud física que cuantifica la diferencia de potencial eléctrico entre dos puntos	Se medirá en voltios (V), se empleará el analizador de redes para obtener los distintos voltajes.

Fuente: elaboración propia.

9.1. Fases del estudio

Se describen las fases de estudio, en cada una se presenta las herramientas, métodos, análisis, análisis de casos de estudio, para recopilar la información, tabulación de datos,

9.2. Fase 1: exploración bibliográfica

Esta etapa responde a la revisión documental para realizar la investigación de antecedentes del problema y marco teórico referente al estudio. Las fuentes utilizadas son de índole primario con contenido de información técnica y resultado de trabajos mayormente científicos.

9.3. Fase 2: recolección de datos y casos

Los datos necesarios para la investigación provienen de las siguientes fuentes:

- Datos históricos de eficiencia productiva de la impresora flexográfica analizada de los 12 meses, 2019. Se presentan a continuación en la tabla III.

Tabla III. **Eficiencia mensual de la impresora**

Mes	Eficiencia (%)
Enero	
Febrero	
Marzo	
Abril	
Mayo	
Junio	
Julio	
Agosto	
Septiembre	
Octubre	
Noviembre	
Diciembre	

Fuente: elaboración propia.

- Valores de eficiencia energética de los equipos instalados con base a especificaciones del fabricante se presentan en la tabla IV.

Tabla IV. **Eficiencia de los equipos instalados**

Equipo	Marca	Año de fabricación	Eficiencia

Fuente: elaboración propia.

- Para obtener los valores iniciales de operación de la impresora flexográfica se utilizarán el Analizador de redes CIRCUTOR, *ProfiCore* y *ProfiTrace*.

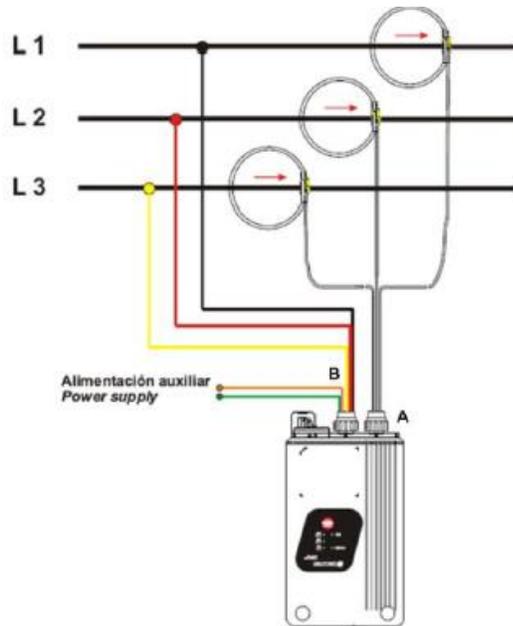
El analizador de redes CIRCUTOR se instalará en la acometida eléctrica principal de la impresora por un tiempo de 7 días para obtener todas las posibles variaciones en la operación y los valores obtenidos se detallarán en las tablas V a XVI.

Figura 15. **Analizador de redes CIRCUTOR e3**



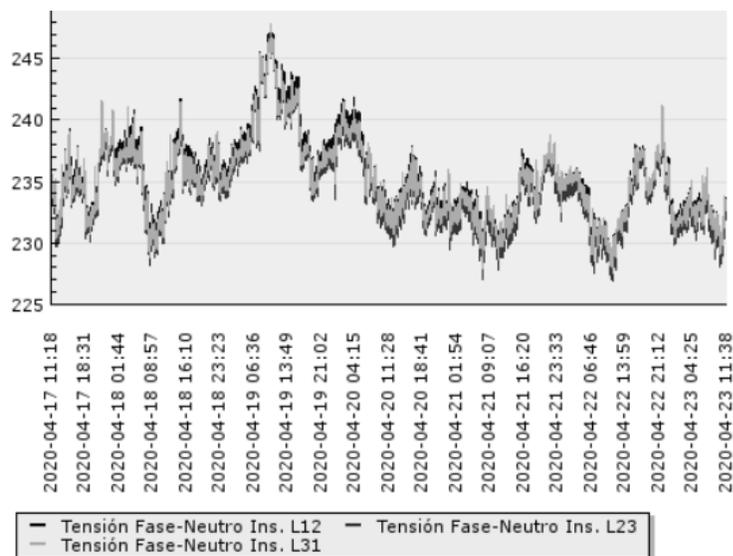
Fuente: Manuals Directory. *CIRCUTOR CIRe3 Series Manual del usuario*. Consulta: 27 de octubre de 2020. Recuperado de <https://www.pdfmanuales.com/manuals/750282/circutor-cire3-series.html>

Figura 16. Diagrama de conexión en trifásico



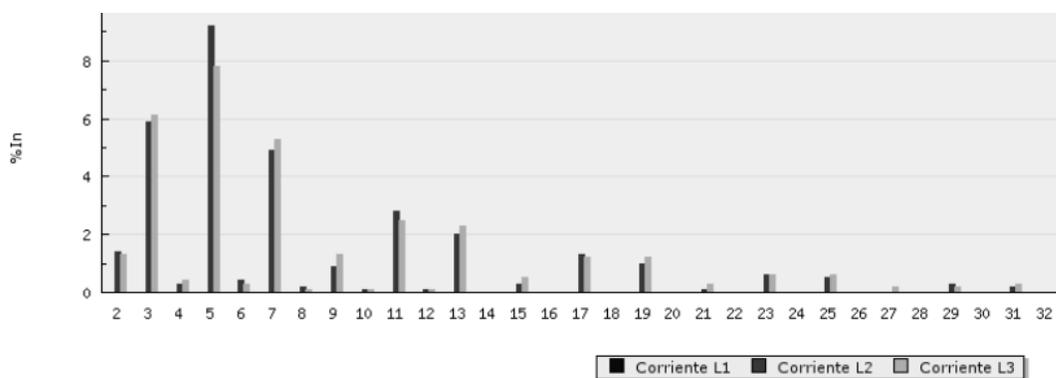
Fuente: Manuals Directory. *CIRCUTOR CIRE3 Series Manual del usuario*. Consulta: 27 de octubre de 2020. Recuperado de <https://www.pdfmanuales.com/manuales/750282/circutor-cire3-series.html>

Figura 17. Voltaje de fase a fase



Fuente: elaboración propia, empleando el programa ProfiTrace.

Figura 18. Armónico en corriente



Fuente: elaboración propia, empleando el programa ProfiTrace.

Tabla V. **Cantidad de armónicos en voltaje**

Medidas estadísticas	Armónico	ARMV1	ARMV2	ARMV3
Máximo				
Mínimo				
Media				
Mediana				
Moda				
Desviación estándar				

Fuente: elaboración propia.

Tabla VI. **THD en Corriente**

Medidas estadísticas	DAI1	DAI2	DAI3
Máximo			
Mínimo			
Media			
Mediana			
Moda			
Desviación estándar			

Fuente: elaboración propia.

Tabla VII. **THD en voltaje**

Medidas estadísticas	DVI1	DVI2	DVI3
Máximo			
Mínimo			
Media			
Mediana			
Moda			
Desviación estándar			

Fuente: elaboración propia.

Tabla VIII. **Cantidad de armónicos en corriente**

Medidas estadísticas	Armónico	ARMA1	ARMA2	ARMA3
Máximo				
Mínimo				
Media				
Mediana				
Moda				
Desviación estándar				

Fuente: elaboración propia.

Tabla IX. **Cantidad de corriente**

Medidas estadísticas	AI1	AI2	AI3	AI
Máximo				
Mínimo				
Media				
Mediana				
Moda				
Desviación estándar				

Fuente: elaboración propia.

Tabla X. **Voltaje de fase a fase**

Medidas estadísticas	eVI12	VI23	VI31
Máximo			
Mínimo			
Media			
Mediana			
Moda			
Desviación estándar			

Fuente: elaboración propia.

Tabla XI. **Flicker ponderado**

FWAI1	FWAI2	FWAI3

Fuente: elaboración propia.

Para obtener el estado inicial de la red de comunicación de datos Profibus se utilizará el programa ProfiTrace interconectado por el hardware ProfiCore al PLC principal de la impresora ubicado en el panel de control.

El tiempo de toma de datos de la red Profibus es incierto debido a que muchos factores pueden prolongar el tiempo calculado de 5 horas. Todos los datos obtenidos de la red se estarán presentando en las tablas XI, XII y XIII.

Figura 19. **Sistema de conexión ProfiCore**



Fuente: Manuals Directory. *CIRCUTOR CRe3 Series Manual del usuario*. Consulta: 12 de septiembre de 2020. Recuperado de <https://www.pdfmanuales.com/manuals/750282/circutor-cire3-series.html>

Figura 20. Sistema de conexión ProfiTrace



Fuente: Manuals Directory. *CIRCUTOR CRe3 Series Manual del usuario*. Consulta: 12 de septiembre de 2020. Recuperado de <https://www.pdfmanuales.com/manuals/750282/circutor-cire3-series.html>

Tabla XII. Voltaje en los nodos

Voltaje	Nodo 1	Nodo 2	Nodo n	Nodo n+1

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIII. Verificación de conectores Profibus

Fecha	Conector	Estado	Observaciones

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIV. **Voltaje de comunicación**

Fecha	Punto de medida	Voltaje	Estado

Fuente: elaboración propia.

9.4. **Fase 3: análisis de la información**

Para la información obtenida de los datos históricos de eficiencia productiva de la impresora flexográfica, se utilizará el programa de Excel para permitir analizar la información tomando en cuenta los niveles de medición de la variable mediante estadística descriptiva, el programa permitirá hacer proyecciones y series históricas de los datos. Los datos obtenidos se detallarán en la Tabla XIV.

Tabla XV. **Medidas de tendencia central**

Serie de datos	Media aritmética	
	Moda	
	Mediana	

Fuente: elaboración propia.

Para el análisis de eficiencia de los equipos con base a las características del fabricante de desarrollará un cuadro comparativo con los datos de eficiencia de los equipos que se proyecta actualizar.

Tabla XVI. **Comparativo de eficiencia de equipos**

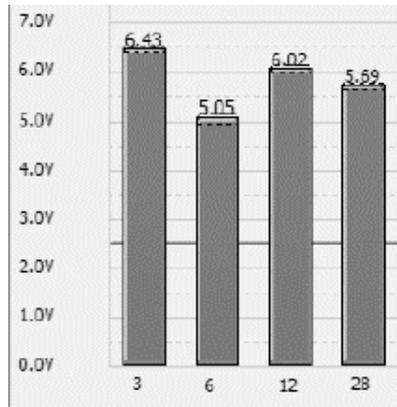
Equipo	Eficiencia actual	Eficiencia proyectada

Fuente: elaboración propia.

Para el análisis de información de las condiciones iniciales de operación, el analizador de redes brindará una gráfica de la variable medida y una tabla en Excel con mediciones cada 03 minutos, la cual se interpretará según los datos desplegados por el programa.

Para los datos que brinda el *ProfiTrace* es necesario evaluar y comparar los voltajes en los nodos y ruido en los conectores *Profibus* para lograr encontrar los voltajes que deben estabilizar el sistema de comunicación de datos.

Figura 21. **Estabilidad de voltajes**



Fuente: Manuals Directory. *CIRCUTOR CRe3 Series Manual del usuario*. Consulta: 12 de septiembre de 2020. Recuperado de <https://www.pdfmanuales.com/manuals/750282/circutor-cire3-series.html>

9.5. **Fase 4: interpretación de información**

La información obtenida de las 3 fuentes será interpretada por separado. Para la eficiencia de producción de la impresora, se validarán los datos productivos de fábrica para comparar con la producción actual y concluir sobre la diferencia obtenida. Para la eficiencia de los equipos se realizará una gráfica del tiempo en años con el avance de la eficiencia energética de los equipos para concluir de manera objetiva el motivo de la discontinuidad de algunos equipos de la impresora flexográfica.

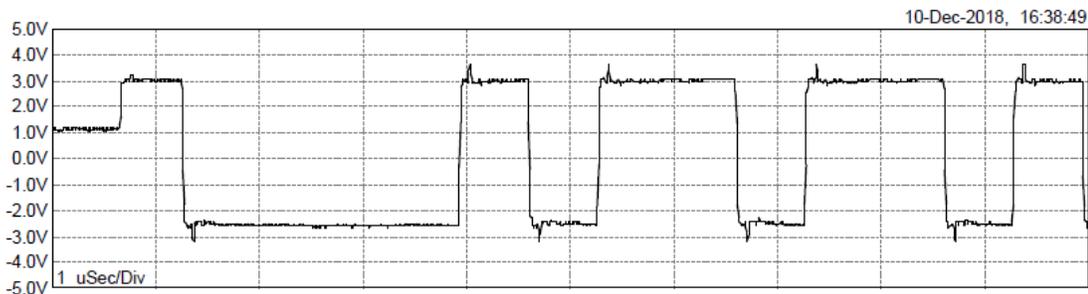
Para los valores iniciales de operación del equipo se interpretará cada gráfica y tabla presentada, se concluirá con causas objetivas sobre los comportamientos de los datos.

Con los valores obtenidos de las tablas XIV; XV se deben de determinar los voltajes que estabilizan el sistema por medio de una comparación con los valores indicados en los manuales del fabricante.

Para los datos de la tabla XI el voltaje de comunicación en los nodos indica que a mayor distancia de la fuente de alimentación, menor voltaje reciben y al estar en el límite de su operación, una pequeña variación resultaría en una falla de comunicación.

La información de la tabla XII debe mostrar que el ruido eléctrico en los nodos más lejanos es más evidente.

Figura 22. **Ruido eléctrico en el sistema**



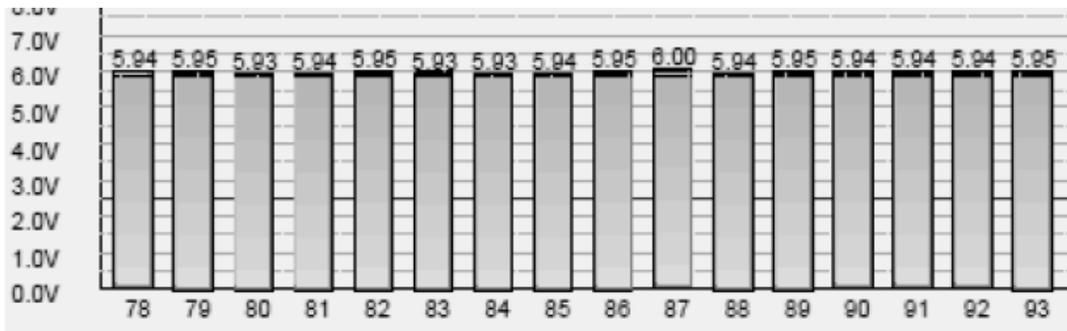
Fuente: elaboración propia, empleando el programa ProfiTrace.

9.6. Fase 5: estabilización del sistema de comunicación

Para la estabilización del sistema no se puede regir a una estructura debido a las variantes que se tiene al momento de programar los nuevos dispositivos de movimiento inteligente sobre el código principal, muchas veces se requiere configuraciones adicionales e instalación de Drivers, que dependiendo de la

fecha en que se realice la actualización pueden variar por indicaciones de los fabricantes.

Figura 23. Voltajes de comunicación esperados



Fuente: elaboración propia, empleando el programa ProfiTrace.

Con los dispositivos de movimiento inteligente configurados dentro del código de programación se debe realizar una nueva medición de datos similares a los obtenidos en las tablas XIV, XV luego compararlos y observar cuales voltajes de comunicación son los existentes en el sistema.

9.7. Fase 6: proyección de ahorro energético

Se tomarán como base los valores iniciales de potencia activa de la impresora flexográfica para proyectar el ahorro energético de la actualización de los dispositivos de movimiento inteligente. Se realizará una tabla XVII comparar los valores de potencia y energía para definir el ahorro energético. Luego se procederá a realizar un análisis financiero para medir la viabilidad del proyecto y el retorno de la inversión.

Tabla XVII. **Proyección de ahorro energético**

	Potencia	Tiempo de trabajo	Energía	Costo de la energía	Costo total
Actual					
Proyección					
				Ahorro energético	

Fuente: elaboración propia.

9.8. Fase 7: presentación y discusión de resultados

Al terminar el estudio técnico de la actualización de los equipos de movimiento inteligente, los resultados de la eficiencia energética que se puede obtener con los nuevos equipos conectados a una red de Profibus se presentarán por medio de gráficos, tablas e ilustraciones. Los resultados obtenidos de las mediciones y la proyección de la actualización se analizarán por medio de herramientas financieras que determinarán la viabilidad del proyecto y el tiempo de retorno de la inversión

10. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

Para cumplir con los objetivos de la investigación se analizarán todas las variables de estudio y se utilizará estadística descriptiva cuantitativa como herramienta para la presentación de resultados.

- Variables de estudio:
 - Armónico (% THD)
 - Corriente (A)
 - Energía eléctrica (KWh)
 - Frecuencia (Hz)
 - Potencia (W)
 - Tiempo (s)
 - Voltaje (V)

Las variables eléctricas mencionadas serán recolectadas por medio del Analizador de Redes CIRCUTOR e3 y ProfiTrace/ProfiCore como se describe en la metodología.

Se utilizarán las siguientes herramientas:

- Tablas de datos de armónicos en voltaje y corriente
- Tabla de datos de corriente
- Tabla de datos de la energía consumida
- Tabla de datos de voltaje del sistema
- Curvas de voltaje y corriente en función del tiempo
- Gráfico de barras del THD del voltaje y corriente

- Tabla de voltaje en los nodos de comunicación

Las herramientas estadísticas que se utilizarán son:

- Máximos, mínimos, media, mediana y desviación estándar a corrientes, voltajes, armónicos, potencia y energía eléctrica para determinar las tendencias de las mediciones iniciales.
- Rango para determinar los voltajes de estabilización del sistema.
- Análisis financiero en el programa de Excel para determinar el VAN y TIR para la factibilidad del estudio.

11. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

El estudio cuenta con todos los recursos económicos, debido a que la empresa busca mejorar sus procesos de producción.

El presente diseño de investigación se realizará con recursos del estudiante de maestría. Siendo la investigación descriptiva, se tendrán en cuenta los siguientes recursos:

Tabla XVIII. **Recursos necesarios para la investigación**

Recurso	Costo
Instrumento de medición	Q1.800,00
Materiales consumibles	Q350,00
Transporte	Q500,00
Asesor	Q2.500,00
TOTAL	Q5.150,00

Fuente: elaboración propia.

Los recursos aportados por el estudiante se consideran suficientes para cubrir los costos de la investigación, por lo que se considera factible la realización del estudio.

12. CRONOGRAMA

Para darle un seguimiento detallado al desarrollo de cada una de las fases de las metodologías se establecieron tiempos para el cumplimiento de cada una de las fases.

Figura 24. Cronograma

Fases de la investigación	Año 2021																											
	Enero				Febrero				Marzo				Abril				Mayo				Junio							
	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4				
Fase 1. Exploración bibliográfica	■	■	■	■																								
Fase 2. Recolección de datos					■	■	■	■																				
Fase 3. Análisis de la información									■	■	■	■																
Fase 4. Interpretación de la información													■	■	■	■												
Fase 5. Estabilización del sistema de comunicación																	■	■	■	■								
Fase 6. Proyección del ahorro energético																					■	■	■	■				

Fuente: elaboración propia.

13. REFERENCIAS

1. Abril, J. (2019). *Implementación de la metodología SMED en el proceso de impresión flexográfica para la reducción de tiempos de setup en una industria productora de envases plásticos flexibles*. (Tesis de licenciatura). Universidad de Guayaquil, Ecuador. Recuperado de <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/41200/1/TESIS%20JEFFERSON%20ABRIL.pdf>
2. Acuosa, E. (mayo de 2014). *Tintas en base acuosa para la aplicación ink-jet*. [Mensaje de blog]. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/276225092_Tintas_en_base_acuosa_para_la_aplicacion_ink-jet
3. Agudelo, M. (2016). *Diseño de un banco de pruebas didáctico para la operación de un sistema de control de movimiento con un servomotor Yaskawa*. (Tesis de licenciatura). Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia. Recuperado de <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/7004/6298312M516.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
4. Balcells, J., Romeral, L. y Martínez, R. (1997). *Autómatas programables*. Barcelona, España: Marcombo. Recuperado de <https://books.google.com.mx/books?id=xfSjADge70C&printsec=copyright#v=onepage&q&f=false>

5. Benedicto, J. (2016). *Plan de mantenimiento de una máquina flexográfica de 8 colores de tambor central*. (Tesis de licenciatura). Universidad Politécnica de Cartagena, Colombia. Recuperado de <https://repositorio.upct.es/xmlui/bitstream/handle/10317/5574/pfc6377.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
6. Betancour, E. y Sánchez, J. (2016). *Sistema de control de velocidad de un motor trifásico mediante un variador de frecuencia y sistema Scada*. (Tesis de licenciatura). Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia. Recuperado de <https://core.ac.uk/download/pdf/84108358.pdf>
7. Cevallos, I. (2019). *Análisis de los efectos que causan los armónicos en los motores a inducción cuando usan los variadores de frecuencia*. (Tesis de maestría). Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, Ecuador. Recuperado de <http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/12508/1/T-UCSG-PRE-TEC-IEM-185.pdf>
8. Corzo, R., y Rodríguez, J. (2013). *Red Profibus DP aplicada mediante el PLC siemens S7-300*. (Tesis de maestría). Universidad Pontificia Bolivariana, Colombia. Recuperado de file:///C:/Users/SERVIDOR/Downloads/digital_20799.pdf
9. Fernández, G., Contreras, A., Herrera, V. y Olivera, M. (octubre de 2017). Controlador multieje de posicionamiento de servomotores bldc implementado en fpga. *Pistas Educativas*, vol 39(125), pp. 340-361.

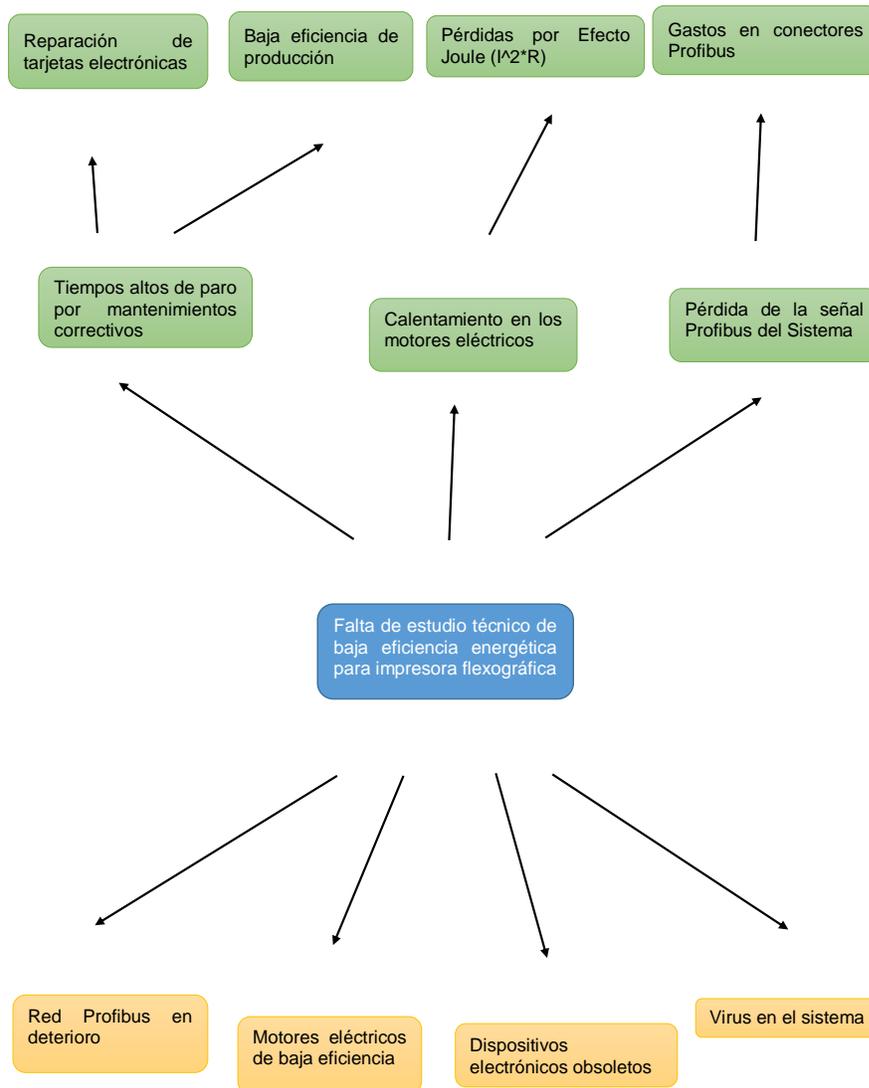
10. Flores, A. y Dávila, S. (2009). *Modulación senoidal de ancho de pulso (SPWM) como etapa de control en módulos de pequeña y gran escala, para aplicaciones en variadores de frecuencia*. (Tesis de maestría). Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador. Recuperado de <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/20>
11. Fonseca, F. y Játiva, M. (2018). *Implementación de una red Profibus para el control de una banda transportadora en el proceso de calentamiento y reactivación del pegamento en el caucho, mediante un sistema seguidor de temperatura y extracción de gases*. (Tesis de maestría). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador. Recuperado de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/9210/1/108T0253.pdf>
12. González, H. y Villamizar, O. (enero de 2019). Implementación de un sistema de control para regular la velocidad y posición de motores industriales utilizando el protocolo de comunicación OPC. *Revista UIS Ingenierías*, vol 18(2), pp. 147-158.
13. Hurtado, J. (2014). Tutorial redes Profibus-dp. Departamento de - Electrónica del I.E.S. España: Linares, Himilce.
14. Iriarte, J. (2017). *Aplicación del SMED para incrementar la productividad en el cambio de formato de la impresora flexográfica en la empresa POLYBAGS PERÚ SRL, SJL-2017*. (Tesis de licenciatura). Universidad César Vallejo. Lima, Perú. Recuperado de https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/25594/Iriarte_GJ.pdf?sequence=1&isAllowed=y

15. Jiménez, T. y Arco, P. (2016). *Control de un motor de pasos utilizando un micro y un dsp.* (Tesis de maestría). Universidad Nacional Autónoma de México, México. Recuperado de <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/10614/TESIS.pdf?sequence=1>
16. Meza, C. y Sabogal A. (2018). *Análisis de metodologías para la cuantificación de pérdidas económicas por presencia de armónicos eléctricos y ocurrencia de SAGS de tensión.* Tesis de maestría). Universidad De La Salle. Bogotá, Colombia. Recuperado de https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1253&context=ing_electrica
17. Penabad, L., Iznaga, M., Rodríguez, A. y Cazañas, C. (octubre de 2016). Disposición y disponibilidad como indicadores para el transporte. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, vol 25(4), pp. 64-73.
18. Rivera. L. (2018). *Módulo de prueba con servomotores, motores paso a paso, motores de corriente directa utilizando tarjeta Raspberry pi para mejorar el desarrollo de las prácticas de Robótica.* (Tesis de licenciatura). Universidad Estatal del Sur de Manabí. Jipijapa, Manabí, Ecuador. Recuperado de <http://repositorio.unesum.edu.ec/bitstream/53000/1486/1/UNESUM-ECU-REDES-2017-18.pdf>
19. Rodríguez, A. y Fernández, M. (junio de 2017). La casa inteligente. *Universidad Carlos III de Madrid*, vol 1, pp. 1-8.

20. Villacañas, D. (2019). *Integración de PLC con modelos virtuales de plantas industriales*. (Tesis de maestría). Universidad Carlos III de Madrid, España. Recuperado de <https://e-archivo.uc3m.es/handle/10016/30315#preview>
21. Villamar, C. (2015). *Implementación del método de medición de eficiencia general del equipo "Ege" para el mejoramiento de la eficiencia en el proceso de impresión flexográfica en la máquina impresora Comexi Gearless N° 9 de la Empresa Plásticos del Litoral*. Universidad de Guayaquil, Ecuador.
22. Vivar, C. y López, J. (2012). *Diseño e implementación de un módulo didáctico para clasificación, empacado, e inspección de huevos aplicando PLC*. (Tesis de maestría). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba, Ecuador. Recuperado de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/2852/1/108T0031.pdf>
23. Yumbla, F., y Landivar, J. (2017). *Configuración y programación del PLC S7-1200 en comunicación PROFIBUS con el UNIDRIVE SP para uso Industrial*. Boca Raton, FL, United States: Latin American and Caribbean Consortium of Engineering Institutions.

14. APÉNDICES

Apéndice 1. Árbol de problemas



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. Matriz de coherencia

Problema	Objetivos	Variables	Metodología	Plan de acción
<p>Pregunta principal:</p> <p>¿La actualización de los dispositivos de movimiento inteligente puede mejorar la eficiencia energética de la impresora flexográfica?</p>	<p>Objetivo general:</p> <p>Realizar un estudio técnico de actualización del sistema de automatización de dispositivos de movimiento inteligente para mejorar la eficiencia energética en una impresora flexográfica en una empresa de plásticos flexibles.</p>	<p>Consumo energético</p> <p>Voltaje de comunicación</p> <p>Distorsión armónica total (THD)</p>	<p>Analizador de redes portátil cir-e3 circutor.</p> <p>Proficore serie: 1803416597</p> <p>ProfiTrace V2.9.7</p> <p>Cotizaciones de equipos.</p> <p>Costo total de la implementación.</p>	<p>Instalar medidor de redes portátil. (7 días)</p> <p>Realizar simulaciones de voltajes con el ProfiTrace para la estabilización del sistema. (4 horas)</p> <p>Medir la eficiencia energética con el medidor de redes portátil. (7 días)</p> <p>Realizar análisis económico del proyecto. (1 día)</p>

Continuación del apéndice 2.

<p>Preguntas auxiliares: ¿Cuáles con las condiciones actuales de operación de la impresora flexográfica?</p>	<p>Objetivos específicos: Analizar las condiciones iniciales de operación de la impresora flexográfica.</p>	<p>Señales de voltaje del sistema de comunicación. Topología de la red.</p>	<p>Proficore serie: 1803416597 ProfiTrace V2.9.7 Analizador de redes Cir-e3</p>	<p>Instalar el analizador de redes. (7 días) Conectar los medidores de redes Profibus. (5 horas) Tabular toda la información obtenida. (1 día)</p>
<p>¿Cuáles son los voltajes de comunicación en el software de medición que logran la estabilización del sistema?</p>	<p>Determinar los voltajes de comunicación con el software de medición para lograr la estabilización del sistema.</p>	<p>Niveles de voltaje en comunicación</p>	<p>Analizador de redes Profibus Lecturas de bibliografías</p>	<p>Conectar dispositivos para medición de la red Profibus. (5 horas) Realizar simulaciones de voltaje para la estabilización. (5 horas)</p>
<p>¿Cómo obtener la estabilización del sistema de comunicación?</p>	<p>Explicar cómo obtener la estabilización del sistema de comunicación.</p>	<p>Señales de voltaje en la red y en los dispositivos.</p>	<p>ProfiTrace V2.97 ProfiCore serie 1803416597</p>	<p>Interpretar las gráficas obtenidas en las mediciones de la red Profibus. (1 día)</p>

Continuación del apéndice 2.

¿Cuánto ahorro energético se obtendrá con esta actualización?	Estimar el ahorro energético de la impresora flexográfica con esta actualización.	Voltaje Corriente Potencia Factor de potencia Energía eléctrica	Analizador de redes portátil e3 circutor.	Instalar el analizador de redes. (7 días) Comparar las mediciones anteriores. (1 día) Calcular el ahorro energético. (1 día)
---	---	---	---	--

Fuente: elaboración propia.