



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA CENTROAMERICANA

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

PROYECTO DE GRADUACIÓN

DESARROLLO DE SISTEMA DE PROTECCIÓN DE

MOTORES ELECTRICOS EN AREA DE CORTE, CARACOL KNITS

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TITULO

INGENIERO EN MECATRÓNICA

PRESENTADO POR:

21411011 ARIEL ANTONIO

SAN PEDRO SULA

ENERO 2019

Resumen Ejecutivo

Caracol Knits es una empresa de alto prestigio, con sede en Potrerillos, Cortes, que inicia operaciones en marzo del 2001, convirtiéndose con los años en líder del mercado regional, produciendo insumos de calidad para abastecer las plantas de costura, con Fruit of the Loom como uno de sus clientes. Fruit of the Loom (FOL) es una empresa con distintas plantas alrededor del globo, con sede en Kentucky, Estados Unidos. Caracol knits está dividido en plantas las cuales son:

- Caracol knits
- Coral knits
- PPA
- Biomasa

De estas plantas Caracol y Coral Knits, están dedicadas al tratamiento de materia prima y producción. Entre los procesos que se realizan en estas plantas están:

- Tejido
- Teñido
- Secado
- Costura
- Rotary

Caracol knits como empresa tiene como misión convertirse en líder mundial de la industria textil y sus servicios relacionados, por medio de crear valor agregado a sus clientes, formando y manteniendo relaciones y alianzas de largo plazo con los proveedores, atrayendo e integrando en equipos de alto desempeño a la mejor gente que puedan ser contratados dentro de una estructura organizacional plana, proveyendo

productos y servicios de alta calidad a bajos costos, cumpliendo las metas financieras y de rentabilidad.

El problema que encara actualmente Caracol Knits, es el fallo en los motores de sus equipos en uno de los procesos más críticos, antes que nada, se mencionara el proceso que pasa la tela hasta llegar a este proceso crítico. El proceso de Caracol Knits comienza en el área de tela cruda, donde se almacena la materia prima, esperando ser tratada, para pasar por el proceso de teñido y secado, luego por el proceso de compactado, donde se clasifica que tela va al área de costura y que tela va al área de corte, una vez pasa esta selección, la tela clasificada es llevada al área de corte, donde antes de ser cortada pasa por las maquinas expansoras o "spreaders", luego de este procesa, llega al área de corte, donde la tela es cortada de manera geométrica por medio de control numérico, por distintas maquinas, entre estas están:

- Lectra
- Morgan
- BRB

Caracol Knits como empresa, encara su problema principal con las máquinas de corte Lectra, las cuales, con la combinación de varios factores, llámense estos desgastes, rozamiento, corrientes parasitas, altas temperaturas, experimentan un fallo en el motor de turbina (400V) y el motor de enfriamiento, causando paros indefinidos en el proceso de corte, experimentando pérdidas de hasta dos lotes diarios.

Executive Overview

Caracol Knits is a prestigious company, based in Potrerillos, Cortes, which started operations in March 2001, becoming the regional market leader, producing quality supplies to supply sewing plants, with Fruit of the Loom as one of your customers. Fruit of the Loom (FOL) is a company with different plants around the globe, based in Kentucky, United States. Caracol knits is divided into plants which are:

- Snail knits
- Coral knits
- PPA
- Biomass

Of these plants Caracol and Coral Knits, they are dedicated to the treatment of raw material and production. Among the processes carried out in these plants are:

- Knitting
- Dyeing
- Drying
- Sewing
- Rotary

Caracol knits as a company's mission is to become a world leader in the textile industry and its related services, by creating added value to its customers, forming and maintaining long-term relationships and alliances with suppliers, attracting and integrating in high-

end teams. performance to the best people who can be hired within a flat organizational structure, providing high quality products and services at low costs, meeting the financial goals and profitability.

The problem currently facing Caracol Knits, is the failure of the engines of their teams in one of the most critical processes, first of all, mentioning the process that passes the fabric to reach this critical process. The Caracol Knits process begins in the area of raw cloth, where the raw material is stored, waiting to be treated, to go through the process of dyeing and drying, then through the compaction process, where it is classified which fabric goes to the area of sewing and which fabric goes to the cutting area, once this selection passes, the classified fabric is taken to the cutting area, where before being cut it passes through the expanding machines or "spreaders", after this process, it reaches the area of cutting, where the fabric is cut geometrically by means of numerical control, by different machines, among these are:

- Lectra
- Morgan
- BRB

Caracol Knits as a company, faces its main problem with Lectra cutting machines, which, with the combination of several factors, call these wear, friction, parasitic currents, high temperatures, experience a failure in the turbine engine (400V) and the cooling motor, causing indefinite stoppages in the cutting process, experiencing losses of up to two batches per day.

The problem is faced with a thermal protection system for the engine room of the Lectra Vector 7000 machines, which aims to prevent unscheduled stoppages.

What is intended to prevent avoiding unscheduled stoppages?

It is intended to prevent damage to the rotor or stator, generating partial or total damage to the motor mass, in order to avoid cost due to rewinding. It is also intended to avoid damage by friction of mass or friction and friction in the bearings.

The results obtained regarding the installation of the thermal protection system can not be quantified in the short term, because, the feasibility study, the relationship between loss of production and repair cost was made in comparison to the years 2017 and 2018, In order to present conclusive results of the thermal protection system, a period of approximately 6 months must be expected, in order to wait for at least one alarm indicating that the temperature in the closed cycle is reaching its limit, in this way can begin to quantify the savings in terms of corrective maintenance, avoiding a total system failure.

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, agradecer a Dios, por mostrarse fiel en todo momento de mi vida, por ser un Dios que no me ha dejado de la mano en ningún momento de mi carrera universitaria, que, sin yo merecerlo, recibí siempre el ciento por uno de su parte, por ser alguien que no me ha puesto en el lugar que deseo, sino en el lugar que necesito.

Agradecer a mi papá, por su esfuerzo del día a día, para poder proveerme la mejor educación. A mi mamá por su dedicación para poder inculcarme valores morales de excelencia, tales como la responsabilidad, por inculcarme valores Cristianos, por su dedicación a lo largo de estos 22 años, por ser una mujer paciente y entregada a su familia.

A Kathleen, Lisbeth y José Manuel Reyes, por ser parte de mi crecimiento moral, por ser determinantes en momentos específicos de mi vida, tanto en la parte estudiantil como en mi vida personal.

A Orlando Reyes, por enseñarme siempre a respetar y apreciar el trabajo de los demás, y por enseñarme que el saludo no se le niega a nadie.

A Michelle Fernández, Diana Rápalo, Elsa Euceda, Glenia García, José Eulogio Martínez, Marcial Erazo, Julia Castillo, Ana Reynaud, Erika Salinas, Xiomara Paz, Miguel Reyes, catedráticos y colaboradores en Saint Peter's Academy, que fueron, son y serán ejemplos a seguir para mi durante toda mi vida profesional y personal.

Agradecimientos especiales a los ingenieros Jared Ocampo y Ricardo Maldonado. A la doctora en química y farmacia Osiris Chessman, al doctor Corrocher de la Universidad Politécnica de Valencia.

A Nadya, Bryan, Neisy, Gerardo, Marcelo, Elio, Alvin, Marlon, Diego, Henry Murillo y a todo el equipo de Caracol Knits, por haberme brindado su confianza y su apoyo para la implementación del presente proyecto de graduación.

INDICE

I.	INTRODUCCIÓN.....	1
II.	Planteamiento Del Problema.....	3
	2.1 Antecedentes.....	3
	2.2 Definición Del Problema	5
	2.3 Preguntas de investigación.....	6
	2.4 Objetivos.....	6
	2.4.1 Objetivo General.....	6
	2.4.2 Objetivos Específicos	7
	2.5 Justificación.....	7
III.	Marco Teórico	8
	3.1 Herramientas	8
	3.1.1 Vibrometro	8
	3.1.2 Intervalo P-F.....	10
	3.1.2.1 P-F Neto	11
	3.1.2.2 Consistencia del intervalo P-F.....	12
	3.1.2.3 Factibilidad Técnica de Tareas a Condición	13
	3.1.3 Analizador trifásico de energía y calidad de la energía eléctrica fluke 434.....	13
	3.1.4 Cámara térmica flir E60.....	15
	3.1.5 PLC (Control Lógico Programable)	17
	3.1.6 Grafcet.....	31
	3.1.6.1 Etapas.....	31
	3.1.6.2 Acciones asociadas a las etapas.....	33
	3.1.6.3 Transición.....	34
	3.1.6.4 Estructuras Principales	35
	3.1.7 PT100 y módulo de expansión RTD	37
IV.	Metodología.....	46

4.1 Hipótesis	46
Variables Dependientes.....	47
Variables Independientes	47
4.2 Método y enfoque.....	48
4.3 Fuentes Informáticas	50
4.4 Cronograma.....	52
V. Resultados y Análisis	54
5.1 Análisis.....	54
5.2 Resultados	57
5.2.1 Diseño de GRAFCET.....	58
5.2.2 Programación.....	60
5.2.3 Diagrama de fuerza	63
VI. Conclusiones	64
VII. Recomendaciones	66
7.1 Hacia la empresa.....	66
7.2 Hacia la universidad.....	66
VIII. Bibliografía.....	67
IX. ANEXOS.....	72
Anexo 1. Masa de motor.....	72
Anexo 2. Rodamiento frontal de masa de motor.....	73
Anexo 3. Masa frontal de motor con rozamiento.....	74
Anexo 4. Masa de motor con evidencia de desgaste por rozamiento.....	75

INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Cortadora Lectra 7000.....	4
Ilustración 2: Grafica de promedio de producción mensual.....	5
Ilustración 3: Tabla de estándares de vibración.	9

Ilustración 4: Vibrometro Examiner 1000	10
Ilustración 5: Intervalo P-F neto.....	11
Ilustración 6: Intervalos P-F de inconsistencias	13
Ilustración 7: Fluke 434, analizador de energía.	15
Ilustración 8: Cámara termográfica Flir E6.....	17
Ilustración 9: PLC LOGO!, con ocho entradas y cuatro salidas.....	19
Ilustración 10: Logo de SIEMENS.....	19
Ilustración 11: Ecuación para sistema continuo.	24
Ilustración 12: Representación de sistema continuo.	24
Ilustración 13: Ecuación de sistemas discretos.	25
Ilustración 14: Representación interna de sistema de control con tiempo discreto.	25
Ilustración 15: Bucle típico de control.....	27
Ilustración 16: Diseño en realimentación interna con observador.	28
Ilustración 17: Bucle típico de control por computadora. Bucle utilizado normalmente para diseño KOP de diseño de programa PLC.	28
Ilustración 18: Bucle de control por computador.	30
Ilustración 19: Etapa de grafcet.	32
Ilustración 20: Grafcet con lógica and o simultánea.....	33
Ilustración 21: Acción de nivel 1.	34
Ilustración 22: Acción de nivel 2.	34
Ilustración 23: Transición que une la etapa 1 con la etapa 2.	35
Ilustración 24: Estructura de grafcet de secuencia única.	36
Ilustración 25: Grafcet en divergencia y convergencia and.	37
Ilustración 26: Sensor PT100.	38
Ilustración 27: Un PT100 es un tipo particular de RTD (Dispositivo Termo Resistivo).	39
Ilustración 28: Circuito PT100 de dos hilos.	40
Ilustración 29: Conexión PT100 de dos hilos.	41
Ilustración 30: Conexión PT100 de 3 hilos.	41
Ilustración 31: Circuito eléctrico PT100 de tres hilos.	42
Ilustración 32: Circuito eléctrico PT100 de cuatro hilos.	43
Ilustración 34: Puente de Wheatstone.	43
Ilustración 35: Conexión de AM2 RTD.	45
Ilustración 36: Grafica resistencia-temperatura.....	55
Ilustración 37: Programación KOP PLC. Fuente: Propia.....	60
Ilustración 38: Programación KOP PLC. Fuente: Propia.....	61
Ilustración 39: Programación KOP PLC. Fuente: Propia.....	62
Ilustración 40: Diagrama de fuerza.....	63

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Temperatura según tipo de aislante.....	54
Tabla 2: Voltaje entre líneas	57
Tabla 3: Voltaje de entrada en turbina	57
Tabla 4: Voltaje en transformador	57
Tabla 5: Resistencia entre bobinas.....	57
Tabla 6: Costo por rebobinado de motores.....	63

Glosario

Bobina: Es un soporte cilíndrico o ligeramente cónico sobre el cual se enrolla una masa de mecha o hilaza.

Bobina cortocircuitada: alto consumo de corriente entre las bobinas.

Corriente parasita: fenómeno eléctrico producido cuando un conductor atraviesa un campo magnético variable, o viceversa.

Motor eléctrico: Máquina que transforma una energía en movimiento.

PLC: dispositivos electrónicos o computadoras digitales de tipo industrial que permiten la automatización, especialmente de procesos de la industria, debido a que controlan tiempos de ejecución y regulan secuencias de acciones.

Rodamiento: elemento que sirve como apoyo a un eje y sobre el cual éste gira.

Sensor de temperatura: dispositivo que transforma los cambios de temperatura en cambios en señales eléctricas que son procesados por equipos eléctricos o electrónicos.

Sobretensión: es un aumento, por encima de los valores establecidos como máximos, de la tensión eléctrica entre dos puntos de un circuito o instalación eléctrica.

Torque: Es definido como la condición resultante del desplazamiento angular de los ω_{pi} en relación a un ángulo perpendicular.

Vibración mecánica: es el movimiento de vaiven de las moléculas de un cuerpo o sistema debido a que posee características energéticas cinéticas y potenciales.

I. INTRODUCCIÓN.

La globalización es un proceso creciente día a día de los mercados de productos, trabajos, servicios, entre otros. Este proceso lleva desarrollándose de la mano junto la primera revolución industrial, esto nos da una idea de la alta importancia de su estudio y como puede afectar la industria. La globalización logra ampliar los mercados y logra que las empresas maximicen sus ideas, consiguiendo tres efectos:

- Recursos baratos
- Mercados amplios
- Combinación de ambos.

Siendo para una empresa, su principal meta, siempre mejorar día con día su presentación y ofrecimiento de mejores productos aplicando la relación calidad-precio. Una manera eficiente y eficaz de reducir costos es por medio de las implementaciones de sistemas de mantenimiento preventivo, predictivo, correctivo y protección de equipos.

En el área antes mencionada se detectó la oportunidad de mejora en la maquinaria de definición de corte, se espera que por medio de los estudios realizados en la parte mecánica y eléctrica del motor de turbina se detecten las fallas que causan el sobrecalentamiento y fallo del activo, se espera también que con los resultados de los análisis previamente mencionados, se encuentren propuestas de mejora tanto económicamente como técnicamente factibles, para una eficiencia satisfactoria en el desempeño de los motores.

Se estipula también la implementación de un sistema de protección térmico por medio de un PLC siendo alimentado constantemente por datos analógicos recibidos desde un

sensor en el motor, con el propósito llevar un control en la temperatura del motor, mediante el PLC pueda cortar o no el suministro eléctrico con el fin de proteger el motor.

Para el monitoreo constante de la temperatura del motor se planeó la implementación de un sensor PT100 ubicado directamente en la recámara del motor de turbina, para que, de esta forma, se obtengan datos de temperatura con la mayor exactitud posible.

El sensor PT100 generara datos de temperatura a un módulo de expansión RT, propio de la línea de SIEMENS, junto con el módulo de expansión, una fuente de alimentación y un LOGO OBA 7. En la parte de programación del PLC, se realizó el diseño de un Grafcet, de etapa, acción, transición, con sus respectivas ecuaciones de etapa, para evaluar paso a paso y mantener un monitoreo constante de cada una de las etapas en el PLC.

En la plataforma de programación de LOGO se realizó la respectiva programación del sensor PT100 con contactos y marcas analógicos, entre los contactos analógicos se utilizó el comparador de umbral con una lógica de comparación de $45^{\circ}\text{C} < x < 65^{\circ}\text{C}$, cabe recalcar que 65°C , es el límite permisible de temperatura de un motor mediano, los motores que trabajan en las maquinas Lectra en corte II son motores medianos de 52Kw o 70HP.

El análisis de falla es un examen sistemático para determinar la causa raíz de la falla. (Mora,2012).

II. Planteamiento Del Problema

2.1 Antecedentes.

Caracol knits es una empresa prestigiosa en el país, que opera desde el año 2001, que se dedica a la producción de insumos de calidad para abastecer las plantas de costura, trabajando la materia prima desde la parte de hilo pasando por la maquina tejedora, teñidora, secadora, compactado, corte y acabado. La empresa desde el mes de Abril de 2018, se enfrenta a un problema en específico que se desarrolla en el área de corte, donde se elabora el corte de tela, valga la redundancia. En la planta se presentan dos áreas:

Corte I

Este departamento se encarga de producir una talla específica con máquinas especializadas para realizar el proceso.

Corte II

Este departamento es el encargado de producir dos o más tallas y utilizan maquinas complejas para realizar el proceso.

Los tipos de cortes son diseños o patrones de las prendas a confeccionar, se extiende la tela en varias pilas sobre la mesa de corte, seguidamente la maquina cuenta con software en el cual especificamos todos los requerimientos del corte, empieza a cortar por medio de una cuchilla la cual está programada para seguir coordenadas ya dadas por el usuario. El material que se corta ha pasado por todos los procesos anteriores de Tejido, teñido, secado, compactado.

Como antecedentes del problema se pueden mencionar altas temperaturas en la placa electrónica (motivo desconocido) y expulsión de humos en la parte de refrigeración del motor.

Los estados de falla son fallas funcionales porque ocurren cuando el activo no puede cumplir una función de acuerdo al parámetro de funcionamiento. (Moubray, 2000).

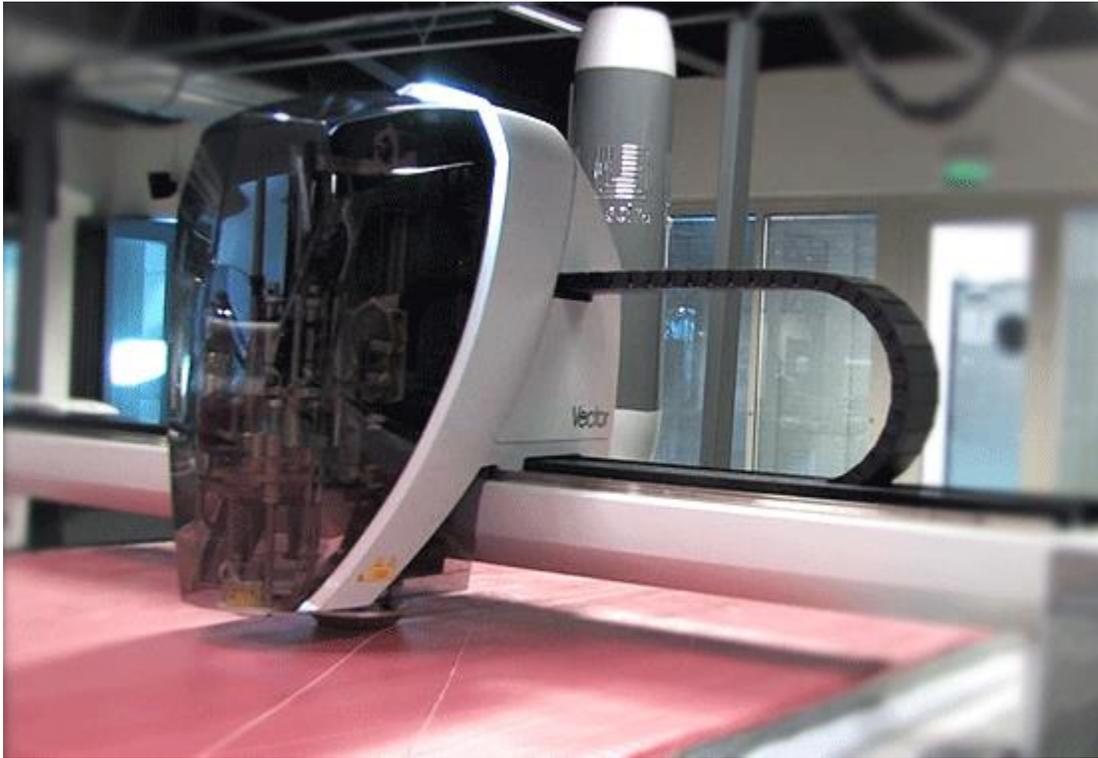


Ilustración 1: Cortadora Lectra 7000.

Fuente: Lectra.com

Las máquinas cortadoras a partir del lapso antes mencionados han teñido fallos de motor, específicamente en el área de corte II, los cuales producen pérdidas en el tiempo de producción.

Sin antecedentes anteriores a la falla, será parte del proyecto el respectivo análisis en condiciones del motor después del fallo para revisión de sus partes mecánicas, y el análisis de corriente, de esta manera se pueden descartar posibles fallas.

2.2 Definición Del Problema

En el área de *Corte II*, en el periodo de Abril a Septiembre, han fallado cuatro motores de distintas maquinas en el área, causando paros indefinidos por fallas inesperadas de sobrecalentamiento en el embobinado del motor, sobrepasando el límite de falla admisible.

El fallo de estos motores causa pérdidas en producción y gastos por reacondicionamiento cíclico o sustitución cíclica.

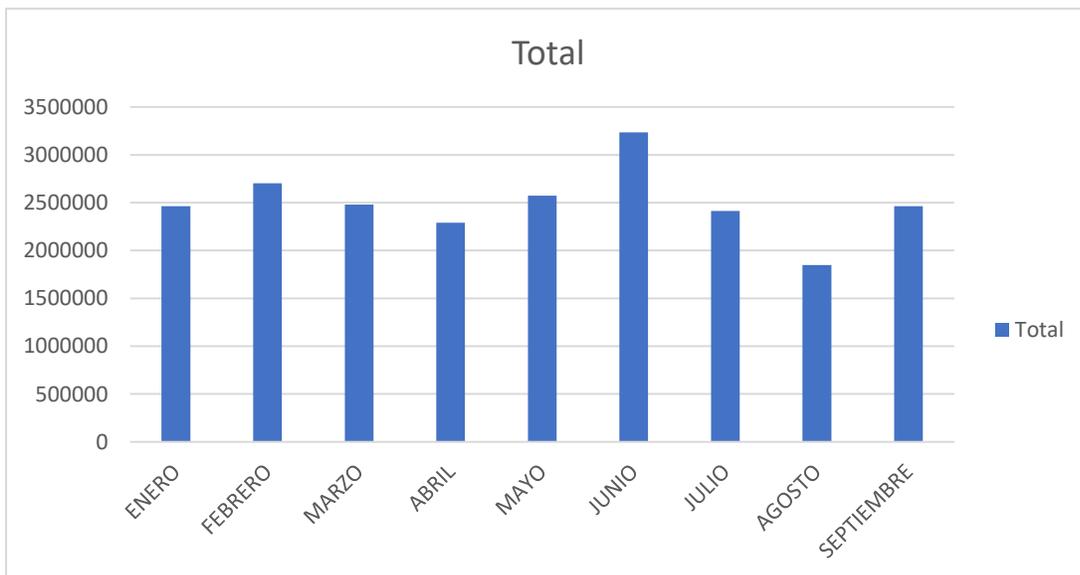


Ilustración 2: Grafica de promedio de producción mensual.

Fuente: (Propia, 2018)

Se puede observar un bajo promedio de producción en los meses de Abril y Agosto, meses en los cuales se presentaron fallos en las maquinas cortadoras. El propósito del proyecto es evaluar y determinar las fallas que causan que cedan los motores, comenzando el análisis desde la parte mecánica, evaluando rodamientos, lubricación de los mismos, humedad en la bobina, siguiendo por la parte eléctrica evaluando los picos de voltaje, arranque de motor, revisión del circuito de mando y revisión de conexiones eléctricas.

2.3 Preguntas de investigación.

¿Cuál es la causa de la falla funcional en los motores?

¿Qué sucede cuando ocurre la falla?

¿Qué puede hacerse para prevenir o predecir la falla de motores?

¿Qué debe hacerse si no se encuentra una tarea proactiva apropiada?

2.4 Objetivos

2.4.1 Objetivo General

Desarrollar un sistema de protección de motores, por medio del monitoreo de las temperaturas a las que los motores están expuestos al trabajar a su carga máxima, con el fin de evitar fallos en el equipo y paros no programados.

2.4.2 Objetivos Específicos

- Determinar un método predictivo para evitar falla en motores.
- Implementar un sistema de protección automatizado a los motores.
- Realizar un estudio de factibilidad técnica y económica para evitar métodos de rebobinado.
- Determinar las causas de fallo de los motores.

2.5 Justificación

Al ser Caracol Knits una empresa de alto reconocimiento e importancia por el servicio y calidad de producto que ofrece a su mercado, el siguiente proyecto pretendo poder reducir las fallas por alta temperatura en los motores de planta para evitar paros de emergencia por fallos en el área de corte en planta Caracol Knits.

Este mismo se orienta a disminuir paros de producción, ya que, en un día normal de producción en el área de corte, se producen 3 lotes por máquina, los cuales equivalen a aproximadamente de 2500-3000 docenas.

Presentándose paros no programados, se presentan pérdidas de hasta 2000 docenas en un paro forzado de 4 horas. De no atender el problema actual y buscar soluciones viables, la empresa seguirá teniendo perdidas en producción e inversiones en restauraciones o sustituciones cíclicas, siendo el área del problema un área crítica para el proceso de producción.

- Nota: Por confidencialidad de información de la empresa, datos presentados en la justificación han sido alterados.

III. Marco Teórico

A continuación, se detallarán y describirán los conceptos de las herramientas implementadas en el presente proyecto.

3.1 Herramientas

El planteamiento de este proyecto ha sido dividido en tres partes:

- Detección de raíz de problema.
- Proponer programas preventivos contra la falla.
- Desarrollo de solución.

En las cuales se utilizarán herramientas en las primeras dos divisiones, donde se procurará utilizar todas las habilidades adquiridas durante la carrera.

3.1.1 Vibrometro

En el proceso de detección de raíz del problema se evalúan las vibraciones del motor, siendo estas medidas en mm/s o in/s, también se evalúa la condición de los rodamientos siendo estos medidos en la unidad Ge. El vibrometro utilizado para tomar esta medición fue el examiner 1000 está diseñado para usarse con los límites de vibración establecidos en la Norma ISO 10816 para ayudar a detectar signos de mal funcionamiento o cambios en la maquinaria en rotación durante la operación.

Riesgos físicos I: ruido, vibraciones y presiones anormales (2a. ed.), Fernando Henao (2014, p. 129)

La vibración puede describirse como un movimiento oscilatorio de un sistema. El movimiento puede ser armónico simple o tratarse de un movimiento extremadamente complejo.

Esto se logra con la vibración general (ISO VIB). Los problemas con los rodamientos ocurren cuando hay una grieta o defecto microscópico o cuando hay una falla en la lubricación que conduce a la interacción de metal con metal.

Riesgos físicos I: ruido, vibraciones y presiones anormales (2a. ed.), Fernando Henao (2014, p. 127)

Las vibraciones mecánicas producidas por la tecnología moderna se convierten en un factor ambiental que influye en la vida cotidiana y laboral.

El EXAMINER 1000 está diseñado para detectar fallas o una falta de lubricación en los cojinetes y engranajes en una etapa temprana al medir los impactos de alta frecuencia a través de métodos de envoltura de aceleración.

Use the chart below as a guide to judge the overall vibration severity of your equipment. Refer to page 12 for further details.

VIBRATION SEVERITY PER ISO 10816-1					
Machine		Class I small machines	Class II medium machines	Class III large rigid foundation	Class IV large soft foundation
in/s	mm/s				
Vibration Velocity Vrms	0.01	0.28			
	0.02	0.45			
	0.03	0.71		good	
	0.04	1.12			
	0.07	1.80			
	0.11	2.80		satisfactory	
	0.18	4.50			
	0.28	7.10		unsatisfactory	
	0.44	11.2			
	0.71	18.0			
	1.10	28.0		unacceptable	
	1.77	45.0			

Ilustración 3: Tabla de estándares de vibración.

Fuente: (Google,2004)



Ilustración 4: Vibrometro Examiner 1000

Fuente: (Google,2008)

3.1.2 Intervalo P-F

El intervalo P-F es el intervalo entre el momento en que ocurre una falla potencial y su decaimiento hasta convertirse en una falla funcional. El intervalo nos dice con qué frecuencia deben realizarse las tareas a condición. Si queremos detectar la falla potencial antes de que se convierta en falla funcional, el intervalo entre las revisiones debe ser menos al intervalo P-F.

El intervalo P-F también es conocido como el periodo de advertencia, el tiempo que lleva hasta la falla, o el periodo de desarrollo de falla. Puede ser medido en cualquier unidad que provea una indicación de la exposición al esfuerzo (tiempo en funcionamiento, unidades de producción, ciclos parada-arranque, etc.), pero por razones prácticas es medido en términos de tiempo transcurrido.

En general basta con seleccionar una frecuencia de tarea igual a la mitad del intervalo P-F, esto asegura que la inspección detectara la falla potencial antes de que ocurra la falla funcional, mientras que provee una cantidad de tiempo razonable para hacer algo al respecto. Esto lleva al concepto de intervalo P-F neto.

3.1.2.1 P-F Neto

El intervalo P-F neto es el intervalo mínimo que es probable que transcurra entre el *descubrimiento* de una falla potencial y la ocurrencia de la falla funcional. La ilustración 5 muestra una falla con un intervalo P-F de nueve meses.

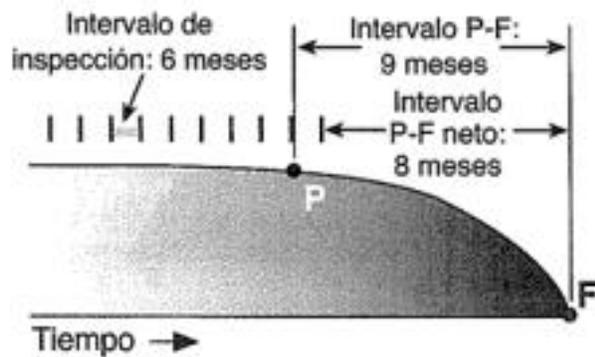


Ilustración 5: Intervalo P-F neto.

Fuente: Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (2004).

El intervalo P-F neto determina la cantidad de tiempo disponible para tomar cualquier acción que sea necesaria para reducir o eliminar las consecuencias de la falla. Dependiendo del contexto operacional del activo físico, el aviso de una falla incipiente les permite a los usuarios de un activo físico reducir o evitar consecuencias de distintas maneras:

- Tiempo de parada: puede planearse una acción correctiva para un momento en el que no afecte a las operaciones. La oportunidad de planear adecuadamente la acción correctiva significa que es más probable que se realice más rápidamente.
- Costos de reparación: los usuarios pueden actuar para eliminar el daño secundario que sería causado por fallas no anticipadas. Esto reduciría el tiempo de parada de máquina y los costos de reparación asociados con la falla.
- Seguridad: la advertencia de la falla da tiempo para detener la planta antes de que la situación se vuelva peligrosa, o para poner fuera de peligro a personas que de lo contrario podrían resultar heridas.

3.1.2.2 Consistencia del intervalo P-F.

Las curvas de intervalos de intervalos P-F. varían en una amplia gama de valores. Si el intervalo P-F neto está asociada con un intervalo mínimo es lo suficientemente largo como para tomar una acción adecuada para manejar las consecuencias de la falla, entonces la tarea a condición es técnicamente factible.

Por otro lado, si el intervalo P-F es muy inconsistente, no es posible establecer un intervalo de tarea que tenga sentido, y la tarea debe ser abandonada nuevamente a favor de alguna otra manera de tratar la falla.

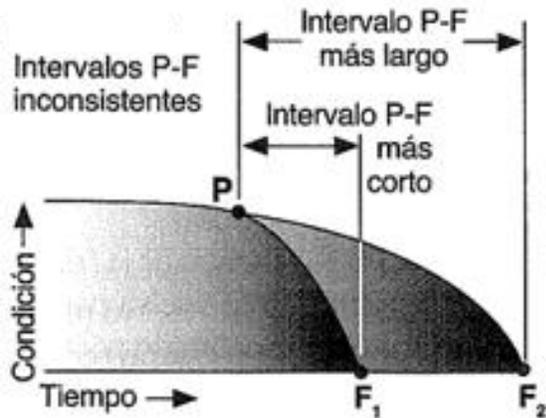


Ilustración 6: Intervalos P-F de inconsistencias

Fuente: Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (2004).

3.1.2.3 Factibilidad Técnica de Tareas a Condición

El criterio que debe satisfacer cualquier tarea a condición para ser técnicamente factible puede ser resumido de la siguiente manera:

- Es posible definir una condición clara de falla potencial.
- El intervalo P-F es razonablemente consistente.
- Resulta práctico monitorear el elemento a intervalos menores al intervalo P-F.
- El intervalo P-F neto es lo suficientemente largo como para ser de alguna utilidad (si es lo suficientemente largo para actuar a fin de reducir o eliminar las consecuencias de la falla funcional).

3.1.3 Analizador trifásico de energía y calidad de la energía eléctrica fluke 434.

El analizador ofrece un conjunto potente y completo de medidas para comprobar sistemas de distribución eléctrica, proporcionan una impresión general del rendimiento del sistema de alimentación eléctrica, se utilizan para investigar detalles específicos.

En este capítulo se ofrece una visión general sobre cómo realizar medidas en un orden lógico. Los Fluke 434-II cuentan con características adicionales tales como parpadeo, transitorios, onda de potencia, transmisión de señales, evento de onda, evento de rms y precisión de la entrada de tensión del 0,1%.

Alimentación de cargas críticas y calidad de la energía eléctrica, José Carpio Ibáñez (2013, p. 278)

Se define el hueco de tensión como la caída del valor eficaz de la tensión a un valor de entre 90% y el 5% del nominal, durante un periodo de tiempo de 10 ms y 1 minuto.

Además, ofrece la posibilidad de medir en sistemas eléctricos de 400 Hz y dispone de un maletín rígido de gran resistencia con ruedas.

Utilizar el fluke 434-II tenía varios objetivos específicos, entre ellos se buscaba verificar:

- Factor de cresta, para la detección de distorsión de onda.
- Armónicos, para comprobar la existencia de armónicos de tensión y corriente y THD (distorsión total por armónicos) por fase.
- Fluctuaciones: para registrar cambios de tensión repentinos incluso de medio ciclo.
- Desequilibrio. La tensión de cada fase no debe diferir más de 1% de la media de las tres. El desequilibrio de corriente no debe ser superior al 10%.
- Calculadora de pérdida de energía. Permite determinar dónde se producen pérdidas de energía y visualizar su influencia en la factura de electricidad.

Alimentación de cargas críticas y calidad de la energía eléctrica, José Carpio Ibáñez (2013, p. 241)

La distorsión armónica afecta las cargas por medio de distorsión de las ondas de tensión y de intensidad.



Ilustración 7: Fluke 434, analizador de energía.

Fuente (Fluke.com, 2018)

3.1.4 Cámara térmica flir E60

Las cámaras térmicas son utilizadas con el fin de comparar puntos específicos en la maquinaria específicamente en el área donde está ubicada el motor, estas dan la oportunidad de ver la temperatura del motor para detectar si está presentando exceso de calor, la temperatura normal de un motor de 50hp llega a ser de 45-60C, temperaturas superiores a 60 grados Celsius se considera un fallo considerable en el motor, posibles causas de calentamiento de motores son:

- Fugas en sellos
- Roce de rodamientos
- Desgaste en devanado
- Distorsión de onda

Termografía infrarroja, Mara Canadá Soriano (2016, p.58)

La energía es una propiedad asociada a los objetos y sustancias y se manifiesta en las transformaciones que ocurren en la naturaleza.

Las cámaras termográficas son utilizadas también para detectar fugas, más que todo en bombas las cuales manejan grandes presiones de fluidos.



Ilustración 8: Cámara termográfica Flir E6.
Fuente (flir.com, 2015)

3.1.5 PLC (Control Lógico Programable)

Es una computadora utilizada en la ingeniería automática o automatización industrial, para automatizar procesos electromecánicos, tales como el control de la maquinaria de la fábrica en líneas de montaje o atracciones mecánicas.

Los PLC son utilizados en muchas industrias y máquinas. A diferencia de las computadoras de propósito general, el PLC está diseñado para múltiples señales de entrada y de salida, rangos de temperatura ampliados, inmunidad al ruido eléctrico y resistencia a la vibración y al impacto.

PLC: automatización y control industrial, Pablo A. Daneri (2008, p.10)

Un sistema de control es un arreglo de componentes cuyo objetivo es comandar o regular la respuesta de una parte del proceso, conocida como planta sin que el operador intervenga en forma directa sobre sus elementos de salida.

Entre las distintas gamas de fabricantes de PLC están:

- B&R Automation
- Bitmakers, S.L.
- Controltemp, S.L.
- Kimatic, Sistemas Industriales de Precision, S.L.
- Larraioz Electronica Industrial, S.L.
- MNova
- Omron Electronics Iberia, S.A.U.
- Siemens, S.A.

Controladores lógicos, Manuel Álvarez Pulido (2003, p. 1)

Un controlador lógico es aquel que realiza funciones lógicas, combinacionales y secuenciales.



Ilustración 9: PLC LOGO!, con ocho entradas y cuatro salidas.

Fuente (siemens.com, 2018)

SIEMENS

Ilustración 10: Logo de SIEMENS.

Fuente (Google, 2018)

Autómatas programables, Albert Mayol i Badía (1988, p. 29).

Los equipos que responden al concepto de Autómata Programable Industrial, se presentan en diversas formas de construcción física, pero en todas ellas se distinguen dos grupos de componentes: la Unidad Central de Proceso y el Sistema de entradas/salidas.

Entre otros conceptos que pertenecen a la familia del PLC, se pueden resaltar

- *Automatización*; el proceso de implantación automática en la industria.
- *Autómata*; instrumento, aparato o estructura que encierra dentro de si los mecanismos necesarios para imprimir ciertas acciones programadas.
- *Sistema*; elemento que transforma información.
- *Señal*; magnitud física que lleva una información.

Teoría de autómatas programables y lenguajes formales, Enrique Alfonseca Cubero (2007, p. 3)

Todos los problemas pueden resolverse mediante una máquina de Turing, se denominan problemas computables o problemas recursivamente numerables.

También resulta de sumo interés la consideración de la naturaleza de variables que intervienen en los sistemas, hay una clasificación inicial simple:

- *Variables discretas*; pueden ordenarse de acuerdo con el conjunto de números enteros. Si se trata de variables o conjuntos de ellas con dos únicos estados, se denominan **Variables Lógicas**.
- *Variables continuas*; están definidas en todo instante de tiempo.

Programación de autómatas, Emilio Gonzales (2014, p.298)

Un programa industrial depositado en un autómata se dice que es SECUENCIAL, cuando las variables de salida del autómata no solo dependen del estado ACTUAL de las variables de entrada, sino también de los momentos anteriores.

Los siguientes cuatro conceptos básicos deben inspirar la enseñanza del control automático:

- Sistema dinámico: respuestas que evolucionan en el tiempo de acuerdo con sus entradas actuales y sus respuestas anteriores. Las herramientas más comunes de describir un sistema dinámico son las ecuaciones diferenciales ordinarias. En el sistema dinámico está incluida la idea de escribir las ecuaciones basado en la física y química del sistema, pero también la identificación a partir de datos experimentales.

Control de sistemas caóticos, Juan Ángel Rodríguez (2009, p. 32)

El diseño de un control línealizante por retroalimentación de estado, permite la supresión de la dinámica caótica en esta clase de sistema.

- Estabilidad: sin estabilidad en el sistema de control, el fracaso es garantizado, hay métodos determinados de diseño que se basan en criterios de estabilidad, algunos de estos métodos se mencionan a continuación:
 - a) Lugar de las raíces de Evans o lugar geométricos de las raíces: nos permite observar los polos del sistema en lazo cerrado en el plano s , donde el semiplano derecho está asociado a zona prohibida (inestabilidad).
 - b) Diagramas de Bode y Nyquist: nos permiten centrar la atención en los márgenes de estabilidad relativa, el margen de fase y el margen de ganancia.
 - c) Control lineal cuadrático Guasiano LQG: es criticado por el hecho de no garantizar un margen de estabilidad, salvo en casos continuos y de retroalimentación completa, con todos los estados.

- Realimentación: este concepto está estrechamente relacionado a la teoría de control, están relacionado al control de sistemas por la consideración de varios factores, tales son, que el modelo que representa al sistema contendrá en alguna medida incertidumbre derivada de diferentes causas de error, por lo que será necesario establecer algún mecanismo para afrontar esa desviación.

Otro factor determinante queda asociado con los ruidos que pueden aparecer en diferentes transmisiones de señal en un esquema de control. Normalmente estos ruidos y perturbaciones son desconocidos en forma e instante de actuación. Como antes, la existencia de estas desviaciones de lo ideal requiera esta configuración de lazo cerrado.

Kheir (1996, p. 56)

"La realimentación es el concepto más significativo dentro del campo de control,"

La implementación de la realimentación trae consigo unos costes y beneficios, entre los costes se encuentra la necesidad de incorporar actuadores y sensores, los actuadores asumen el protagonismo de la autoridad en el lazo de control y pueden imponer limitaciones a la respuesta dinámica de este.

- Compensación dinámica: por medio de la añadidura de una dinámica adicional en el lazo de control, se puede conseguir un mejor aprovechamiento de los distintos elementos del sistema.

La primera compensación dinámica se realizó con los controladores, elementos básicos de control, otras compensaciones tradicionales son las redes de adelanto y de retardo y las redes de compensación basadas en la observación de estados.

Una vez que se tiene un sistema, es preciso fijar una idealización del mismo, este es el paso previo a la obtención de una representación matemática del sistema.

A cualquier representación matemática se le llama *representación del sistema*. De forma general, las variables que definen un sistema se esquematizan en:

- Variable de control (u); son aquellas que pueden ser modificadas desde el exterior, y a partir de las cuales se puede conseguir un comportamiento deseado para el sistema en cuestión. También son conocidas como variables de entrada.
- Variables de salida (y); son variables cuya medición es factible, ofreciendo por lo tanto una información importante sobre la evolución del sistema.

Sistemas de producción automatizados, Barrientos A. (2014, p.33)

Los sistemas combinatorios son aquellos en los que las variables de salida solo dependen en cada instante del valor que toman las variables de entrada.

- Perturbaciones (z); son variables externas al sistema cuya existencia, puede ser conocida de forma previa, pero no son manipulables.
- Variables de estado (x); estas variables representan una naturaleza tal que conocido el valor de un conjunto mínimo de las mismas en un instante determinado es factible el conocimiento de la respuesta del sistema ante cualquier entrada.

Sistemas de control: ganancias de realimentación y observadores de estado, Nabil El Halabi (2007, p. 7)

Al obtener la anti-transformada de Laplace, se obtiene la relación y y r en el tiempo para determinar así las variables de estado.

El conjunto mínimo de variables internas suele definirse como estado de un sistema, y la descripción interna de un sistema puede especificarse por medio de las siguientes ecuaciones para sistemas continuos:

$$\dot{x}(t) = A(t)x(t) + B(t)u(t)$$

$$y(t) = C(t)x(t) + D(t)u(t)$$

Ilustración 11: Ecuación para sistema continuo.

Fuente (Control Automático, tiempo continuo y tiempo discreto,2015).

Se muestra a continuación la representación interna de un sistema continuo:

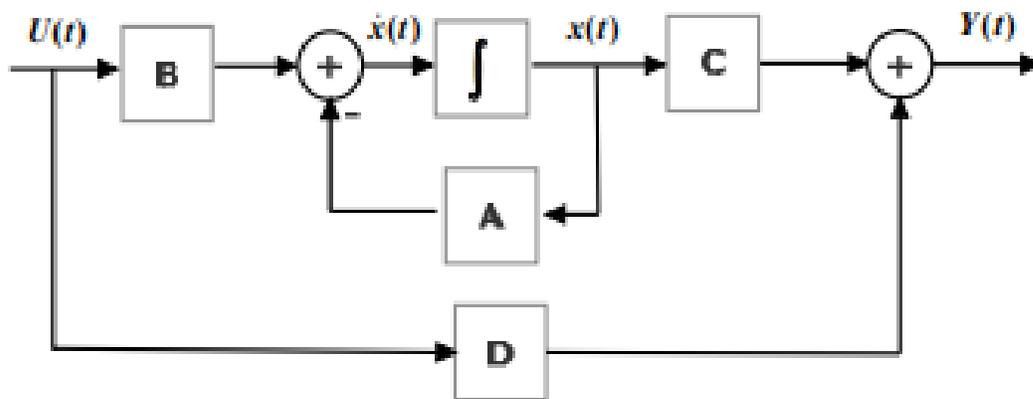


Ilustración 12: Representación de sistema continuo.

Fuente (Control Automático, tiempo continuo y tiempo discreto,2015).

Ecuaciones para sistemas discretos:

$$x[(k+1)T] = A(kT)x(kT) + B(kT)u(kT)$$

$$y(kT) = C(kT)x(kT) + D(kT)u(kT)$$

Ilustración 13: Ecuación de sistemas discretos.

Fuente (Control Automático, tiempo continuo y tiempo discreto,2015).

El control de las acciones discretas es aplicable a un amplio rango de operaciones y pueden necesitar el control de robots y otras formas de automatización. Sistemas de medida y regulación, José Antonio Navarro (2012, p. 200).

Teoría clásica de control

Se muestra a continuación la representación interna de un sistema discreto:

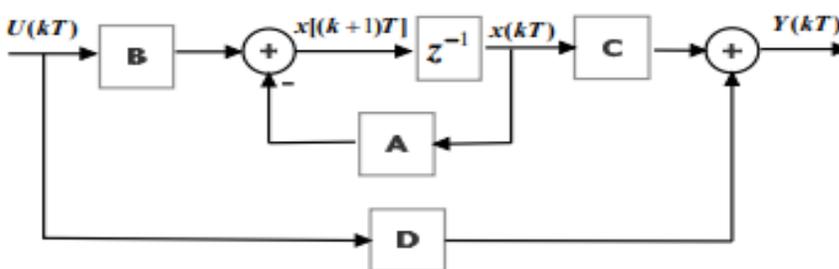


Ilustración 14: Representación interna de sistema de control con tiempo discreto.

Fuente (Control Automático, tiempo continuo y tiempo discreto,2015).

Una vez deducido el modelo matemático del sistema, en una de las dos formas de representación, externa o interna, cualquiera de ellas es válida tanto para analizar el sistema, para proceder a estudiar el comportamiento del mismo ante diferentes situaciones, profundizando en:

- Estabilidad
- Precisión
- Sensibilidad

3.1.5.1 Teoría clásica de control

La resolución del problema de control consiste en la determinación de las entradas y de sus valores más apropiados, con objeto que el comportamiento de la salida o salidas se ajusten a una pauta prefijada. De forma clásica y general, los sistemas de control se pueden clasificar en dos grupos:

- Servosistemas; en los cuales se desea que la señal de salida $y(t)$ siga, lo más fielmente posible, las variaciones de la señal de referencia $r(t)$. Incluyen un bloque regulador en aras a mejorar las especificaciones estáticas y dinámicas de respuesta. Normalmente la salida es una posición de **velocidad o aceleración**.
- Sistemas de regulación; responde a la pretensión que la salida del sistema $y(t)$ mantenga un valor deseado, incluso ante la eventual existencia de perturbaciones $z(t)$, en este caso las variables $r(t)$ es constante o varía lentamente en el tiempo.

Control Automático, tiempo continuo y tiempo discreto, Antonio Correcher (2015, p. 25)

El éxito de la solución propuesta queda supeditado al conocimiento de la relación entre entrada y salida, así como la calibración y exactitud de la instrumentación.

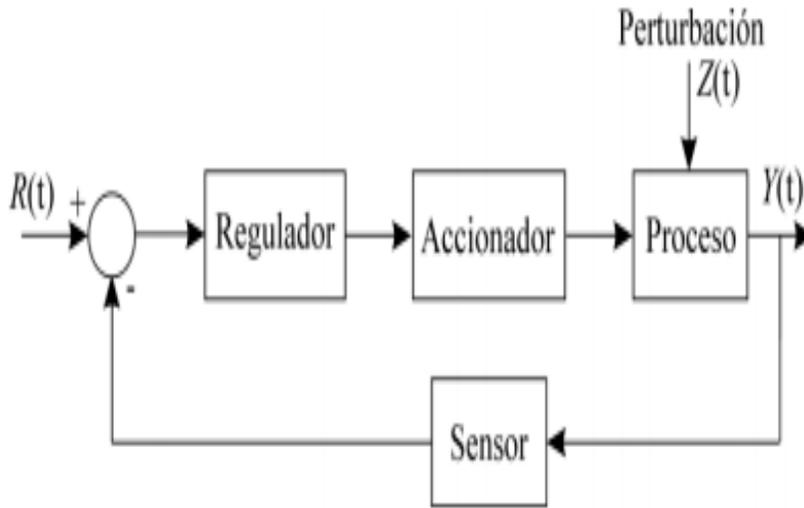


Ilustración 15: Bucle típico de control.

Fuente (Control Automático, tiempo continuo y tiempo discreto,2015).

3.1.5.2 Teoría moderna de control

Según esta teoría, el problema de control queda resuelto tras la determinación de las magnitudes de las acciones de control que deben ser consideradas con objeto de llevar al sistema desde un estado $x(t)$ a otro estado $x(t + t_i)$ en otro instante de tiempo.

La solución del problema de control se centra en la determinación de una señal de control que minimiza una función, en virtud de la que se penaliza tanto el cuadro de estado como el cuadro de acciones de control $u(t)$. Q y R representan las matrices de ponderación.

Bajo esta perspectiva, la acción de control en cada instante $u(t)$ se puede calcular en función del estado actual $x(t)$ y de la matriz de ganancias $K(t)$ calculada, que facilita la minimización del índice planteado. Se puede expresar, por tanto, que:

$$u(t) = K(t)x(t)$$

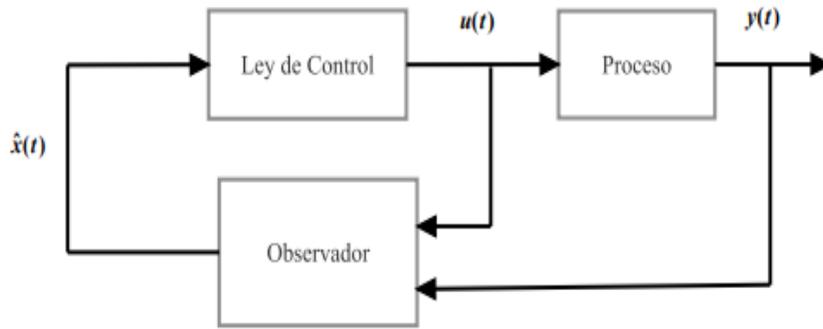


Ilustración 16: Diseño en realimentación interna con observador.

Fuente (Control Automático, tiempo continuo y tiempo discreto,2015).

Cabe decir que también se puede formular el problema de control en la variable de estado bajo la consideración de una ley de control de la forma antes expuesta que además puede incluir un esquema observador, bajo un planteamiento exento de la consideración de un índice de funcionamiento.

Se trata de ajustar la matriz de ganancias K para que el sistema alcance un estado al final de acuerdo con unas especificaciones prefijadas.

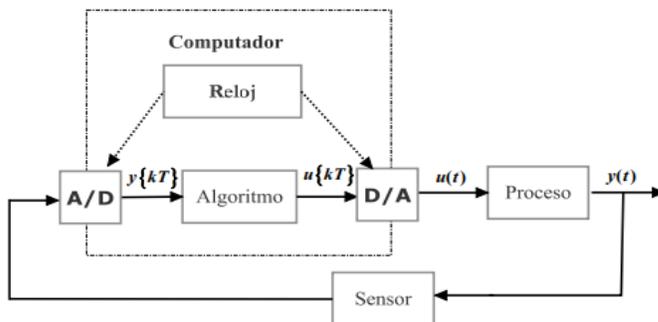


Ilustración 17: Bucle típico de control por computadora. Bucle utilizado normalmente para diseño KOP de diseño de programa PLC.

Fuente (Control Automático, tiempo continuo y tiempo discreto,2015).

Control automático I: estrategias de control clásico, José Muñoz (2014, p. 82)

La acción diferencial D acciona inmediatamente amplificando P, pero desaparece en el instante que no hay cambio en el error.

Como se puede apreciar, la salida del sistema $y(t)$ es una señal continua puesto que esta es la naturaleza del proceso controlado. La señal, una vez que ha sido medida por el sensor debe ser convertida a código digital con objeto de ser entendible por el computador que debe procesarla, habitualmente esta operación se suele realizar disponiendo de un convertidor analógico-digital (A/D).

La conversión tiene lugar en los instantes de muestreo (t_k), operación introducida debido a la naturaleza discreta del computador y gobernada por el reloj de tiempo del mismo.

Como consecuencia, el algoritmo de control implementado dispone de una serie de valores $\{y(t_k)\}$, que procesados dan lugar a la generación de una secuencia de acciones de control calculadas $\{u(t_k)\}$.

Estos valores deben actuar sobre el accionador, que suele ser un dispositivo continuo, por lo que se hace necesario tanto convertir la señal codificada en un valor real extraíble al conjunto exterior, como reconstruir una señal continua a partir de la serie de valores calculados $\{u(t_k)\}$; ambas operaciones se ocupa el convertidor digital-analógico (D/A).

Para finalizar, se debe observar la importancia de los errores de cuantificación que tienen lugar en el procesamiento de valores que realiza el computador y las interfaces.

A raíz de estos valores, surgen de manera instantánea una serie de consideraciones derivadas del hecho de la coexistencia de dos subsistemas de naturaleza distinta:

- El computador con naturaleza discreta
- Proceso con naturaleza continua

El computador por su naturaleza discreta trabaja solamente con valores correspondientes a instantes concretos, normalmente equiespaciados en el tiempo, sincronizados con el reloj de tiempo real. Por tanto, el sistema continuo que se encuentra sujeto a muestro puede ser modelado por ecuaciones discretas o en diferencias.

La herramienta matemática adecuada es la función transformada en Z, llegando a la caracterización de un sistema muestreado por su función de transferencia discreta.

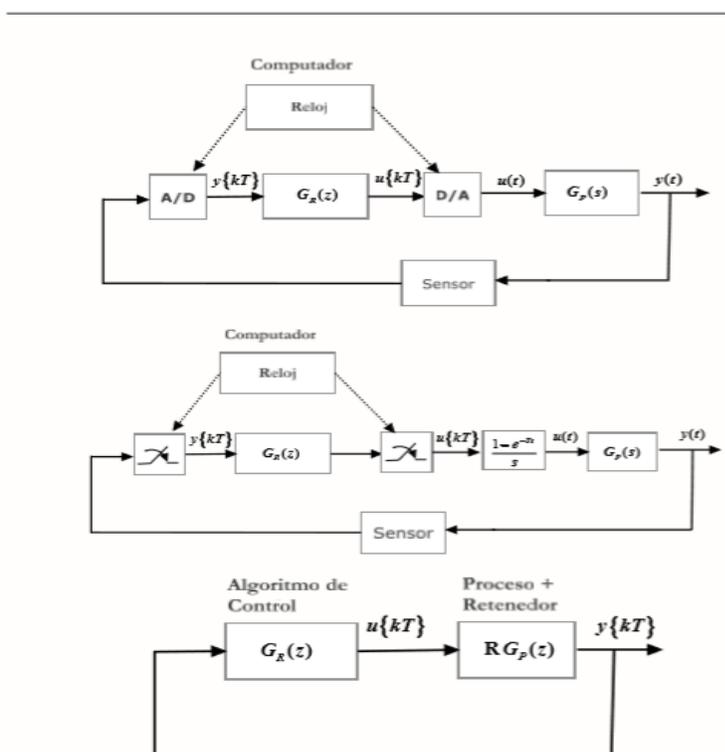


Ilustración 18: Bucle de control por computador.

Fuente (Control Automático, tiempo continuo y tiempo discreto,2015).

Apuntes de control automático de procesos, Salvador Saucedo Flores (2005, p. 139)

Por medio del diseño de sistemas de control por medio de frecuencia es posible seleccionar los tipos de acción del controlador, así como los valores de los parámetros incluidos, de tal manera que el sistema cumpla con las especificaciones del margen de ganancia.

3.1.6 Grafcet

El Grafcet se compone de un conjunto de:

- Etapas o Estados a las que van asociadas acciones.
- Transiciones a las que van asociadas receptividades.
- Uniones Orientadas que unen las etapas a las transiciones y las transiciones a las etapas.

Sistemas de producción automatizados, E. Gambao (2014, p. 42)

El grafcet permite definir de una manera formal la especificación funcional de la parte de control de un sistema automático.

3.1.6.1 Etapas

Una etapa se caracteriza por un comportamiento invariable en una parte o en la totalidad de la parte de mando. En un momento determinado, y según sea la evolución del sistema:

- Una etapa puede estar activa o inactiva.
- Los conjuntos de las etapas activas definen la situación de la parte de mando.

Las etapas se representan por un cuadrado con un número en su parte superior como identificación. La entrada y salida de una etapa aparece en la parte superior e inferior, respectivamente, de cada símbolo.

El conjunto formado por el cuadrado y la extensión de las entradas y salidas constituye el símbolo completo de la etapa:

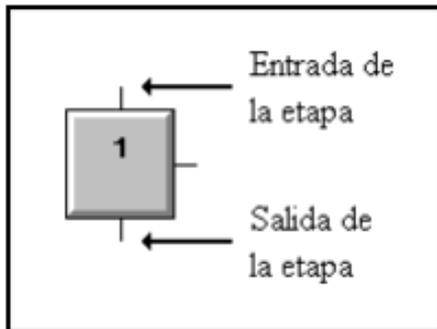


Ilustración 19: Etapa de grafcet.

Fuente (Universidad de Oviedo, 2014)

Introducción a la síntesis y programación de automatismos secuenciales, Daniel Sánchez Morillo (2013, p. 81)

Tras definir el automatismo mediante GRAFCET debe procederse a su programación, según el estándar IEC 61131-3.

Cuando varias transiciones van unidas a una misma etapa, las uniones orientadas correspondientes se reagrupan antes o después de la etapa:

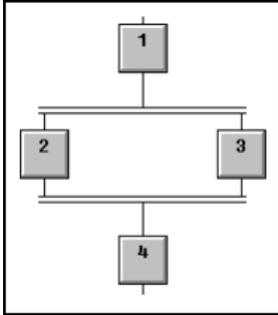


Ilustración 20: Grafcet con lógica and o simultánea.

Fuente (Universidad de Oviedo, 2014)

Diseño lógico: fundamentos de electrónica digital, Héctor Arturo Flórez Fernández (2010, p.148)

Un registro con entrada y salida en paralelo, tiene como objetivo, capturar un dato en paralelo y colocarlo directamente en la salida del registro.

3.1.6.2 Acciones asociadas a las etapas

Las acciones están descritas, literal o simbólicamente, en el interior de uno o varios rectángulos unidos al símbolo de la etapa a la que van asociados. Tanto las acciones asociadas a las etapas como las receptividades asociadas a las transiciones se pueden describir a dos niveles:

- Nivel 1: no tienen en cuenta los elementos tecnológicos que implementan el órgano operativo y sólo se atienden a las especificaciones de tipo funcional. Se trata de describir las funciones del sistema

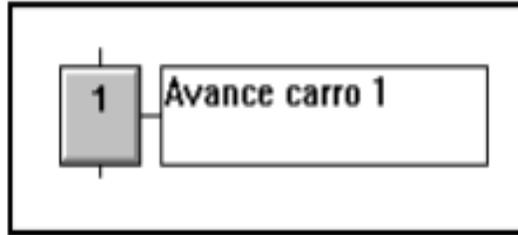


Ilustración 21: Acción de nivel 1.

Fuente (Universidad de Oviedo, 2014)

- Nivel 2: se especifican los aspectos tecnológicos del órgano operativo y de lo que le rodea y de las especificaciones operacionales del órgano de control.

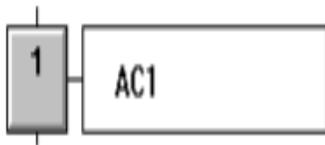


Ilustración 22: Acción de nivel 2.

Fuente (Universidad de Oviedo, 2014)

3.1.6.3 Transición

Una transición indica la posibilidad de evolución entre etapas. Esta evolución se consuma al producirse el franqueo de la transición. El franqueo de una transición provoca el paso en la parte de mando de una situación a otra situación.

Una transición puede estar validada o no validada. Se dice que está validada cuando todas las etapas inmediatamente unidas a esta transición están activas. Una transición entre dos etapas se representa mediante una línea perpendicular a las uniones orientadas, también puede llevar una línea paralela a las uniones orientadas.

Para facilitar la comprensión del Grafcet cada transición puede ir numerada a la izquierda de la línea perpendicular.

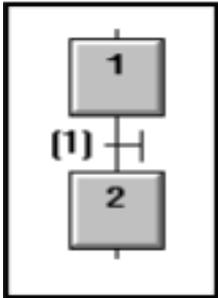


Ilustración 23: Transición que une la etapa 1 con la etapa 2.

Fuente (Universidad de Oviedo, 2014)

Lógica digital y microprogramable, Pío Novo (2007, p. 162)

En los circuitos secuenciales las salidas no solo dependen del valor de las entradas sino de la secuencia de valores tomados anteriormente.

3.1.6.4 Estructuras Principales

Las estructuras de base más utilizadas se describen a continuación:

- Secuencia única: una secuencia única se compone de una sucesión de etapas que son activadas una a continuación de otra. A cada Etapa le sigue solamente una transición y cada transición es validada por una sola etapa.

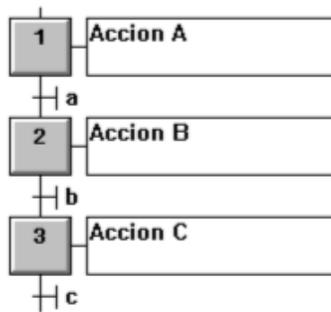


Ilustración 24: Estructura de graficet de secuencia única.

Fuente (Universidad de Oviedo, 2014)

- Secuencias simultáneas, paralelismo estructural: cuando el franqueo de una transición conduce a la activación de varias secuencias al mismo tiempo, se dice que son secuencias simultáneas.

Después de la activación de estas secuencias, las evoluciones de las etapas activas en cada una de las secuencias son independientes. Para asegurar la sincronización de la desactivación de varias secuencias al mismo tiempo, generalmente se ponen etapas de espera recíproca.

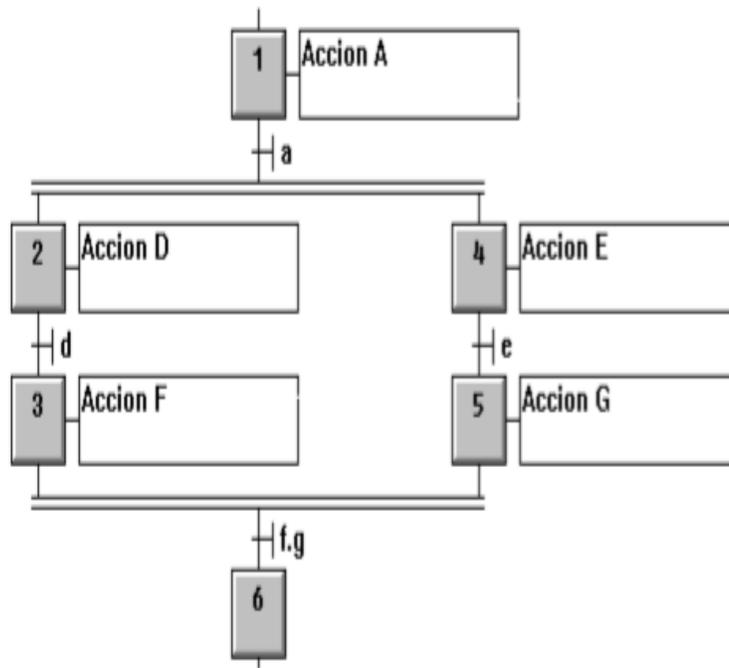


Ilustración 25: Grafcet en divergencia y convergencia and.

Fuente (Universidad de Oviedo, 2014)

A partir de estas etapas, el GRAFCET generado pasa a denominarse GRAFCET de producción. Automatización de procesos mediante la guía GEMMA, Ramon Vilanova (2005, p. 305)

3.1.7 PT100 y módulo de expansión RTD

Un Pt100 es un sensor de temperatura. Consiste en un alambre de platino que a 0 °C tiene 100 ohms y que al aumentar la temperatura aumenta su resistencia eléctrica. El incremento de la resistencia no es lineal, pero si creciente y característico del platino de tal forma que mediante tablas es posible encontrar la temperatura exacta a la que corresponde.

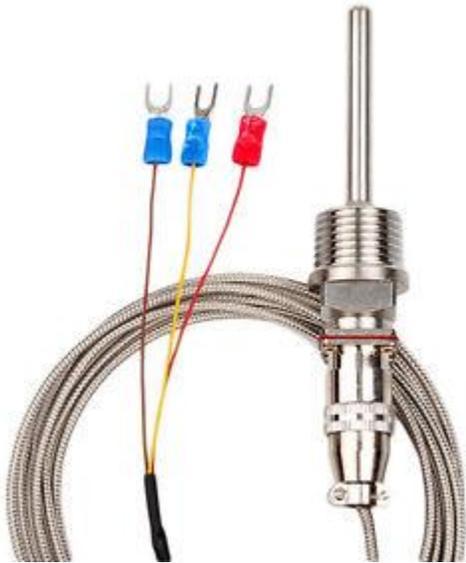


Ilustración 26: Sensor PT100.

Fuente (Siemens, 2014)

Electrónica digital: principios y aplicaciones (7a. ed.), Roger L. Tokheim (2008, p. 475)

El sistema digital tiene un decodificador que es de tipo especial: convierte datos analógicos a digitales conocido como convertidor A/D.

El pt100 es un elemento que no genera de manera independiente ninguna diferencia de potencial por lo que necesita ser conectado a un elemento intermedio en este caso el AM2 PT100.

Transductores y sensores en la automatización industrial, Ivan Escalona (2007, p.14)

Los sensores externos son los elementos que permiten al robot interactuar con su ambiente de una manera flexible.

Este módulo intermedio va a recibir las variaciones de la resistencia del sensor y luego enviarlas al sistema de control con parámetros adecuados, linealizando la respuesta.

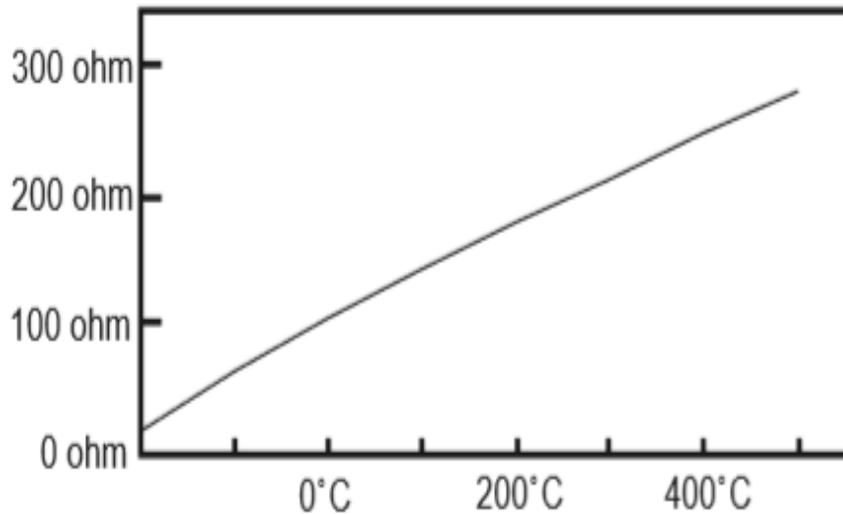


Ilustración 27: Un PT100 es un tipo particular de RTD (Dispositivo Termo Resistivo).

Fuente (Siemens, 2010)

3.1.7.1 ¿Porque utilizar PT100?

- Por su rango de aplicación de -100 a 200.
- Entrega de mediciones precisas en una décima de grado.
- No se descompone gradualmente, entregando valores erróneos.
- Puede colocarse a distancia del medidor, hasta 30 metros.

Sistemas de medida y regulación (2a. ed.), José Antonio Navarro (2018, p. 99)

Los parámetros de entrada a la cadena de medida son propiedades físicas del sistema, mientras que la naturaleza de los parámetros de salida dependerá de la naturaleza de la información a transmitir.

3.1.7.2 Conexión.

Existen 3 modos de conexión para las Pt100, cada uno de ellos requiere un instrumento lector distinto:

- Con dos hilos (menos recomendado): el modo más sencillo de conexión, en este caso las resistencias de los cables R_{c1} y R_{c2} que unen la Pt100 al instrumento se suman generando un error inevitable. El lector medirá el total $R(t) + R_{c1} + R_{c2}$ en vez de $R(t)$. Lo único que se puede hacer es usar cable lo más grueso posible para disminuir la resistencia de R_{c1} y R_{c2} y así disminuir el error en la lectura.

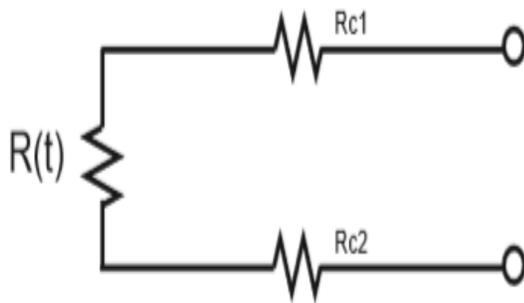


Ilustración 28: Circuito PT100 de dos hilos.

Fuente (Siemens,2014).

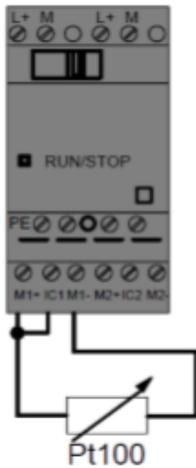


Ilustración 29: Conexión PT100 de dos hilos.

Fuente (Siemens, 2014)

- Con tres hilos: es el modo de conexión de 3 hilos es el más común y resuelve bastante bien el problema de error generado por los cables. El único requisito es que los tres cables tengan la misma resistencia eléctrica pues el sistema de medición se basa en el "puente de Wheatstone".

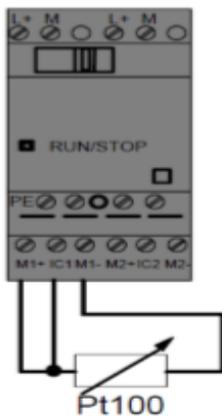


Ilustración 30: Conexión PT100 de 3 hilos.

Fuente (Siemens, 2014)

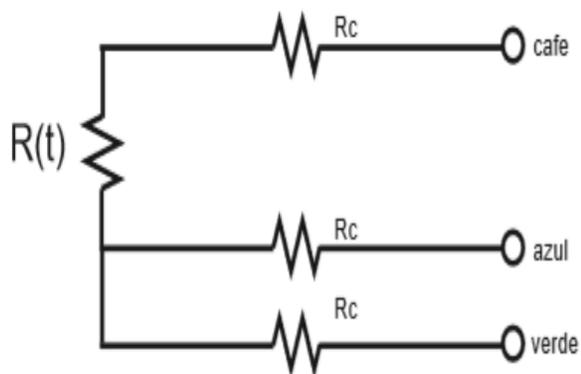


Ilustración 31: Circuito eléctrico PT100 de tres hilos.

Fuente (Siemens, 2014)

- Con cuatro hilos: El método de 4 hilos es el más preciso de todos, los 4 cables pueden ser distintos (distinta resistencia) pero el instrumento lector es más costoso.

Por los cables 1 y 4 se hace circular una corriente I conocida a través de $R(t)$ provocando una diferencia de potencial V en los extremos de $R(t)$.

Los cables 2 y 4 están conectados a la entrada de un voltímetro de alta impedancia luego por estos cables no circula corriente y por lo tanto la caída de potencial en los cables R_{c2} y R_{c3} será cero ($dV = I_c * R_c = 0 * R_c = 0$) y el voltímetro medirá exactamente el voltaje V en los extremos del elemento $R(t)$.

Finalmente, el instrumento obtiene $R(t)$ al dividir V medido entre la corriente I conocida.

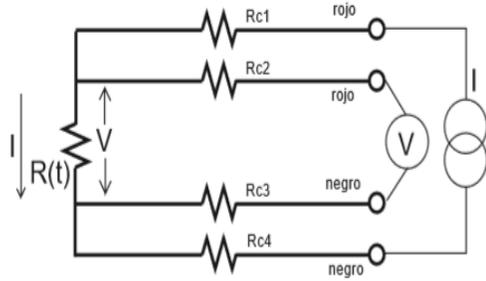


Ilustración 32: Circuito eléctrico PT100 de cuatro hilos.

Fuente (Siemens, 2014)

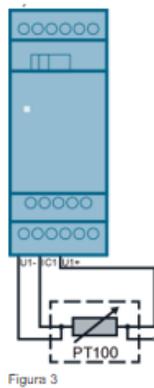


Figura 3

Ilustración 33: Conexión de sensor PT100 de cuatro hilos.

Fuente (Siemens, 2014)

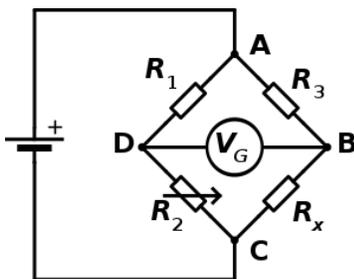


Ilustración 34: Puente de Wheatstone.

Fuente (Google, 2018)

Corriente de excitación.

Cualquiera que sea el método de conexión, se debe hacer pasar una cierta corriente I por el elemento sensor de modo de poder medir su resistencia. Esta corriente I llamada "corriente de excitación" la suministra el instrumento lector y es del orden de 0.1 mA a 2 mA dependiendo del modelo y marca del equipo.

Un problema que puede ocurrir es que la "corriente de excitación" genere por efecto Joule ($P=I^2R$) un calentamiento del elemento sensor aumentando su temperatura y produciendo así un error en la lectura.

Este problema es más pronunciado mientras más pequeña sea la Pt100 (menor capacidad de disipación del calor generado) y a la vez mientras se esté midiendo en un medio menos conductor de calor.

La potencia de autocalentamiento depende del cuadrado de la corriente de excitación, luego mientras menor sea esta corriente, mucho menor será el efecto.

Precauciones

- Es frecuente que cables en ambientes muy húmedos se deterioren y se produzca un paso de corriente entre ellos a través de humedad condensada. Aunque mínima, esta corriente "fugada" hará aparecer en el lector una temperatura menor que la real (Estas fugas también pueden ocurrir en óxido, humedad ó polvo que cubre los terminales).
- No es posible conectar 2 unidades lectoras a un mismo Pt100 pues cada una suministra su corriente de excitación.

- En general no se debe montar un Pt100 en lugares sometidos a mucha vibración pues es probable que se fracture.

MODULO AM 2RTD

Es un módulo analógico de ampliación que dispone siemens para el micro PLC LOGO! que realiza la medición de temperatura de manera directa, permitiendo medir simultáneamente hasta dos temperaturas diferentes mediante dos entradas a las que se puede conectar una termo resistencia PT100 o un PT1000. Este módulo convierte la resistencia de la pt100 en un rango de medición entre 500 a 2000.

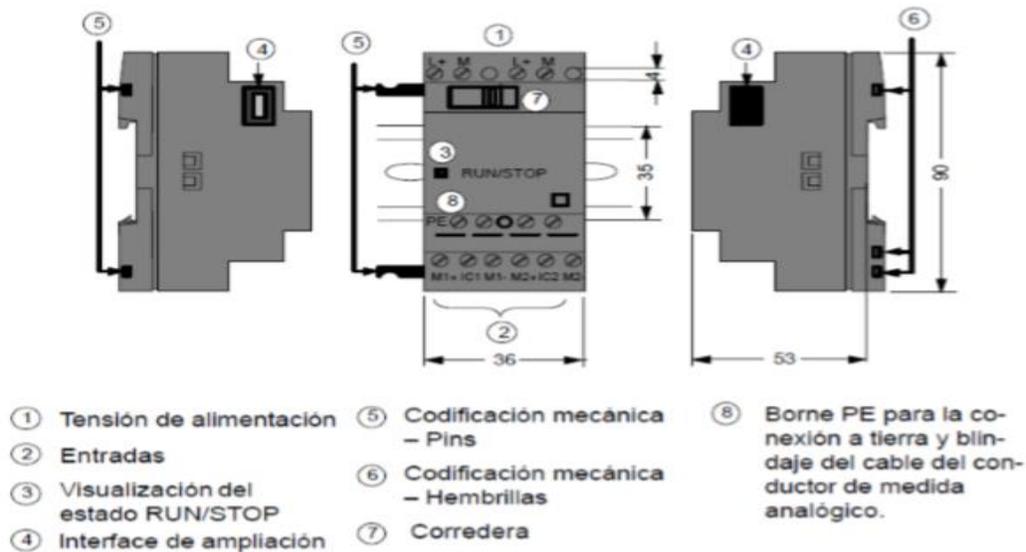


Ilustración 35: Conexión de AM2 RTD.

Fuente:(Siemens 2003)

IV. Metodología

En este capítulo se detallan todas las actividades, procesos, herramientas y datos recopilados a través del tiempo de investigación e implementación del proyecto **“DESARROLLO DE SISTEMA DE PROTECCIÓN DE MOTORES ELECTRICOS EN AREA DE CORTE, CARACOL KNITS”**, con el fin de analizar los resultados para proporcionar la solución más óptima y adecuada para solucionar los problemas encontrados durante la investigación.

Sampieri (2014, p.4) afirma:

“La investigación es un conjunto de procesos sistemáticos, críticos y empíricos que se aplican al estudio de un fenómeno o problema”

La metodología plantea una hipótesis la cual orienta la investigación y hace surgir las variables dependientes e independientes.

4.1 Hipótesis

La necesidad de la realización del proyecto surge a raíz de la constante falla del sistema de carga de las maquinas Lectra, por causa de altas temperaturas dentro de la recamara de motores de la máquina, dicha área está compuesta por un motor de 70 Hp, un motor de enfriamiento de medio caballo y una turbina de enfriamiento, provocando así paros aislados no programados en las maquinas, dejando así perdidas en lotes y gastos en reparación.

En la programación desarrollada en el GRAFCET y en la plataforma de programación LOGO! se establece una programación secuencial con divergencias "OR" las cuales se utilizan para la protección del motor. El sensor de temperatura utilizado para el monitoreo de la recámara de motores envía datos al PLC en el cual este evalúa la condición de dicha recámara, dejando un límite permisible de 60°C grados para motores medianos con aislante térmico de tipo A en lugares cerrados.

El sistema consta también de dos alertas y un paro de seguridad, una de ellas en caso de incremento de temperatura, la cual alertara al operario que el motor de turbina está llegando al límite de su temperatura operable, permitiendo al operario tomar la decisión de parar la máquina para su respectiva revisión. El otro sistema de alarma programado es en caso de una falla en el sensor que monitorea la temperatura, en cuyo caso, encendería una alarma para alertar y operario y mostraría un mensaje para el operario haciéndole saber la falla en dicho sensor.

El paro de seguridad sucede al cumplirse tres condiciones:

- 1) Motor operando.
- 2) Temperatura superior a 60 °C .
- 3) Alerta de temperatura limite encendida.

Variables Dependientes

La variable dependiente en el sistema es el flujo de corriente, debido al momento de producirse un fallo, el flujo debe ser cortado, para evitar daños por calentamiento en bobina.

Variables Independientes

Como variables independientes o variables por controlar es la relación corriente-temperatura del sistema, ya que de la temperatura interna de la recámara de motores

depende que el sistema pueda cumplir o no cortando el suministro de corriente eléctrica al motor primario de la recámara.

4.2 Método y enfoque

Se entiende por métodos de investigación, aquellos procedimientos lógicos y rigurosos que siguen los investigadores para obtener conocimiento, debemos recordar que la palabra método también se puede definir como camino o ruta.

Toda investigación nace a partir de una situación observada o sentida, que genera una serie de inquietudes o preguntas que no se pueden responder de forma inmediata, sino que requiere establecer un proceso de desarrollo para dar solución.

Los tipos de enfoque más utilizados son:

- Método Inductivo: Parte de fenómenos particulares para llegar a generalizaciones. Esto se refiere a pasar de los resultados obtenidos de la observación y experimentación con elementos particulares a la formulación de hipótesis, principios y leyes de tipo general.
- Método Deductivo: Parte de Fenómenos generales para llegar a uno particular. Esto se refiere a la aplicación de principios, teorías y leyes a casos particulares.
- Método Analítico: Estudia las partes que conforman un todo, estableciendo sus relaciones de causa, naturaleza y efecto, va de lo concreto a lo abstracto.

- Método Sintético: Estudia las relaciones que establecen las partes para reconstruir un todo o unidad, a partir del reconocimiento y comprensión de dichas relaciones bajo la perspectiva de totalidad, va de lo abstracto a lo concreto.
- Método Científico: Procedimiento riguroso y lógico que permite la adquisición de conocimiento objetivo a partir de la explicación de fenómenos, de crear relaciones entre hechos y declarar leyes.

Respecto a la forma como se adquiere la información encontramos la siguiente clasificación:

- Enfoque Cuantitativo: Parte del estudio del análisis de datos numéricos, a través de la estadística, para dar solución a preguntas de investigación o para refutar o verificar una hipótesis.
- Enfoque Cualitativo: Parte del estudio de métodos de recolección de datos de tipo descriptivo y de observaciones para descubrir de manera discursiva categorías conceptuales.
- Enfoque Mixto: Consiste en la integración de los métodos cuantitativo y cualitativo, a partir de los elementos que integran la investigación.

Para la realización del proyecto "DESARROLLO DE SISTEMA DE PROTECCIÓN DE MOTORES ELECTRICOS EN AREA DE CORTE, CARACOL KNITS" se emplearon los métodos:

- Método Sintético: ya que para entender las causas de la falla es necesario conocer el funcionamiento de todos los componentes para determinar de manera contundente que componente fallo y genero una falla general en el sistema de control.

- Método Científico: fue de suma importancia para determinar la causa del problema, ya que a su procedimiento riguroso se dio un mejor seguimiento a los fenómenos desarrollados en el área de motores, ayudando con mayor facilidad al desarrollo de la hipótesis.

En los métodos de enfoque se utilizó el método cualitativo, con el fin de adquirir los datos por medio de observar el comportamiento del equipo y compararlo con el funcionamiento de otros equipos.

De esta forma y complementado con el método sintético, se llegó a teorías conceptuales por medio de las cuales se llegó a conclusiones que explican el por qué se produce la falla en la recámara de motores.

4.3 Fuentes Informáticas

Tipos De Fuente De Información.

Se denominan fuentes de información a diversos tipos de documentos que contienen datos útiles para satisfacer demandas de información. El análisis de proceso de conocimiento, distinción y selección de las fuentes de información adecuadas para el trabajo que se está realizando. (Biblioteca de Alcalá, 2017)

Las fuentes primarias

Las fuentes primarias contienen información reciente y original, proveniente del resultado de un trabajo intelectual, Son documentos primarios:

- Libros
- Informes técnicos
- Patentes
- Normas técnicas

Las fuentes secundarias

Poseen información organizada, elaborada, producto de análisis, extracción o reorganización referente a las fuentes de información primarias. Se consideran fuentes secundarias:

- Enciclopedias
- Artículos que interpretan otras fuentes (libros o investigaciones)
- Antologías
- Directorios

(Biblioteca Universidad de Alcalá, 2017)

Las fuentes terciarias

Recursos que contienen información breve, se toman como fuentes de referencia. Las fuentes terciarias remiten al investigador a fuentes primarias y/o secundarias. (Rosario, 2013)

4.4 Cronograma

Numero de Actividad	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	Predecesoras
1	Induccion	1 día	mié 10/10/18	mié 10/10/18	
2	Reconocimiento de planta	3 días	mié 10/10/18	vie 12/10/18	
3	Planteamiento de proyecto	4 días	mié 10/10/18	dom 14/10/18	
4	Deteccion Mecanica de problema	5 días	lun 15/10/18	vie 19/10/18	
5	Revison de rodamientos	1 día	lun 15/10/18	lun 15/10/18	
6	Investigacion periodos de lubriacion	3 días	mar 16/10/18	jue 18/10/18	5
7	Resistencia entre bobinas	1 día	jue 18/10/18	jue 18/10/18	
8	Fugas de grasa	1 día	vie 19/10/18	vie 19/10/18	
9	Grasa entre bobinas	1 día	vie 19/10/18	vie 19/10/18	
10	Deteccion electrica de problema	5 días	lun 22/10/18	vie 26/10/18	
11	Conexiones neutro-tierra	2 días	lun 22/10/18	mar 23/10/18	
12	Medicion de amperaje entre lineas	2 días	lun 22/10/18	mar 23/10/18	
13	Revison de gabineta	3 días	lun 22/10/18	mié 24/10/18	
14	Revison de fusibles	4 días	mar 23/10/18	vie 26/10/18	
15	Picos de voltaje	2 días	lun 22/10/18	mar 23/10/18	
16	Parametros de arranque de variador	1 día	jue 25/10/18	jue 25/10/18	
17	Medicion de amperaje entrada/salida de variador	1 día	jue 25/10/18	jue 25/10/18	
18	Rediseño de circuito de mando y fuerza	4 días	lun 29/10/18	jue 1/11/18	
19	Diseño KOP de programa	2 días	mié 31/10/18	jue 1/11/18	
20	Simulacion y mejora de KOP	4 días	vie 2/11/18	mié 7/11/18	19

21	Evaluacion de factibilidad al instalar	4 días	mié 31/10/18	lun 5/11/18	
22	Evaluacion de factibilidad economica	2 días	mié 31/10/18	jue 1/11/18	
23	Instalacion de Panel	5 días	lun 5/11/18	vie 9/11/18	
24	Cargar KOP a PLC	1 día	vie 2/11/18	vie 2/11/18	19
25	Pruebas de seguridad	3 días	lun 12/11/18	mié 14/11/18	
26	Revisión de instalacion	1 día	jue 15/11/18	jue 15/11/18	
27	Pruebas de funcionamiento	3 días	vie 16/11/18	mar 20/11/18	



Fuente: Propia

V. Resultados y Análisis

5.1 Análisis

Para la obtención de una lectura de datos de temperatura precisos en el área de motores es necesaria la implementación de sensores y equipos industriales resistentes a las altas temperaturas a las que se alcanza en dicha área. Para una correcta lectura de datos se utilizó un sensor de temperatura industrial de tres hilos, y una señal de entrada de 4.20 mA, con capacidad de 1,200 unidades de ingeniería.

Para el motor de 70Hp en el área de motores con aislante tipo H en condiciones cerradas se determina una temperatura máxima permisible de 115°C, por ende, bajo estas situaciones es necesario la adquisición de un sensor industrial con una capacidad calorífica(C) mayor al límite de temperatura del motor.

Clase de Aislamiento	Tipo de motor	Temp. Ambiente	Incremento de temperatura en carcasa
A	Abierto	40°C	55°C
	Cerrado	40°C	60°C
B	Abierto	40°C	70°C
	Cerrado	40°C	75°C
F	Abierto	40°C	90°C
	Cerrado	40°C	95°C
H	Abierto	40°C	110°C
	Cerrado	40°C	115°C

Tabla 1: Temperatura según tipo de aislante.

Fuente: Universidad de Navarra, Escuela Superior de Ingenieros (2007)

Para determinar la capacidad calorífica se utiliza la ecuación:

$$C = \frac{\Delta Q}{\Delta T}$$

Expresada en unidades J/°C, Cal/°C o BTU/°F.

Los detectores de temperatura de resistencia (RTD) son sensores cuya resistencia varía con la temperatura. El platino es el material de alambre más común y preciso; Las RTD de platino se denominan PT-RTD.

El níquel, el cobre y otros metales también se pueden usar para hacer RTD. Las características de los RTD de platino incluyen un amplio rango de temperatura y una linealidad razonable.

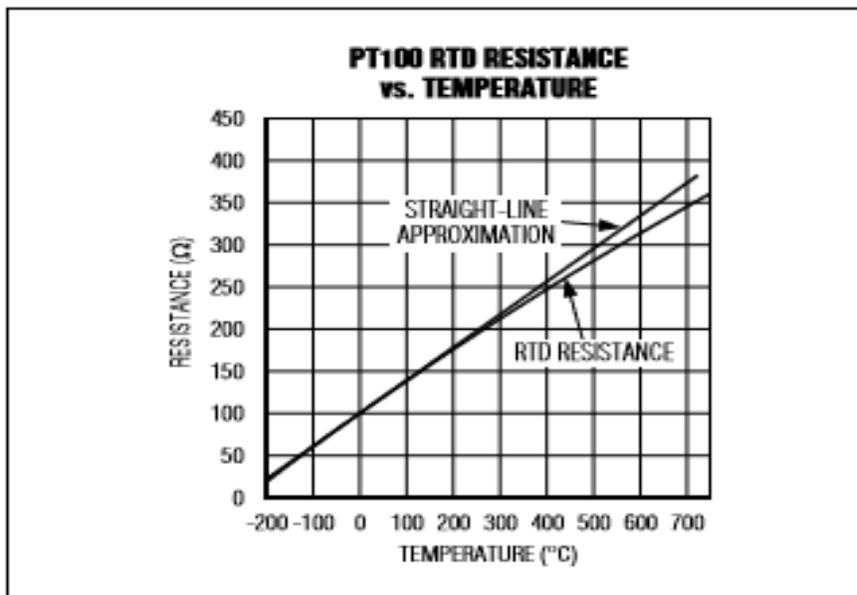


Ilustración 36: Grafica resistencia-temperatura

Fuente: Google (2008)

La curva de resistencia frente a la temperatura es razonablemente lineal, pero tiene cierta curvatura, como se describe en la ecuación de Callendar Van Dusen:

$$R(t) = R_0(1 + aT + bT^2 + c(T - 100)T^3)$$

Donde:

T= temperatura (°C)

R(T)= resistencia en "T"

R₀= Resistencia en "T=0°C"

α= 0.00385055

a = 3.90830x10⁻³

b = -5.77500x10⁻⁷

c = -4.18301x10⁻¹² para - 200°C < T < 0°C < T ≤ 850°C

$$R(T) = 100(1 + (3.90830 \times 10^{-3})(40) + (-5.77500 \times 10^{-7})(40) + -4.18301 \times 10^{-12}(40 - 100)40^3)$$

$$R(T) = 115.54^\circ\text{C}$$

5.2 Resultados

Como resultados se muestran los hallazgos de medición, diseño y programación.

Mediciones eléctricas de maquina Lectra:

L1-L2	L1-L3	L2-L3
398V	398V	399V

Tabla 2: Voltaje entre líneas

L1-L2	L1-L3	L2-L3
466V	466V	465V

Tabla 3: Voltaje de entrada en turbina

L1-L2	L1-L3	L2-L3
467V	466V	467V

Tabla 4: Voltaje en transformador

L1-L2	L1-L3	L2-L3
2.3Ω	4.7 Ω	1.6 Ω

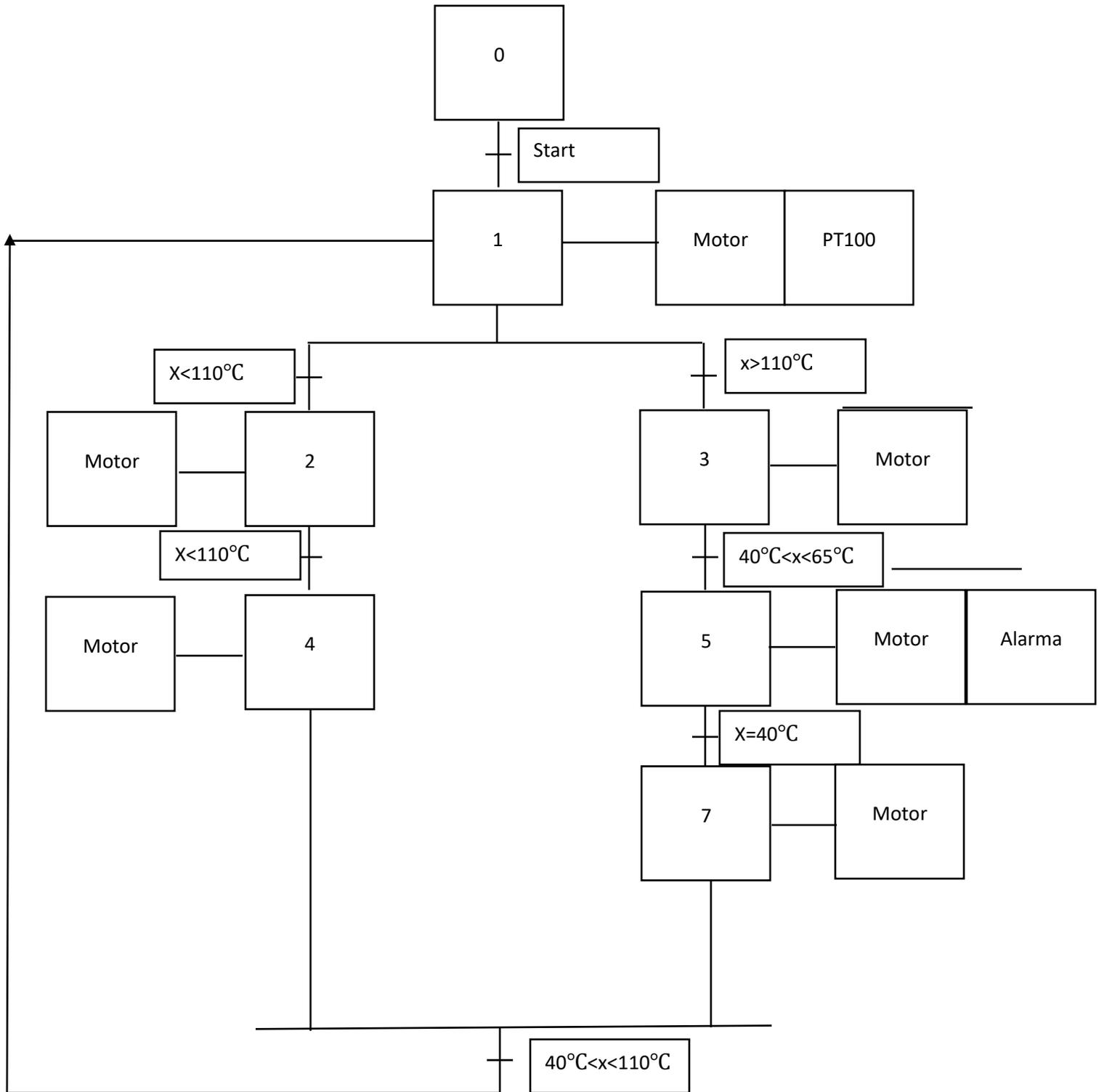
Tabla 5: Resistencia entre bobinas

Ajuste de variador:

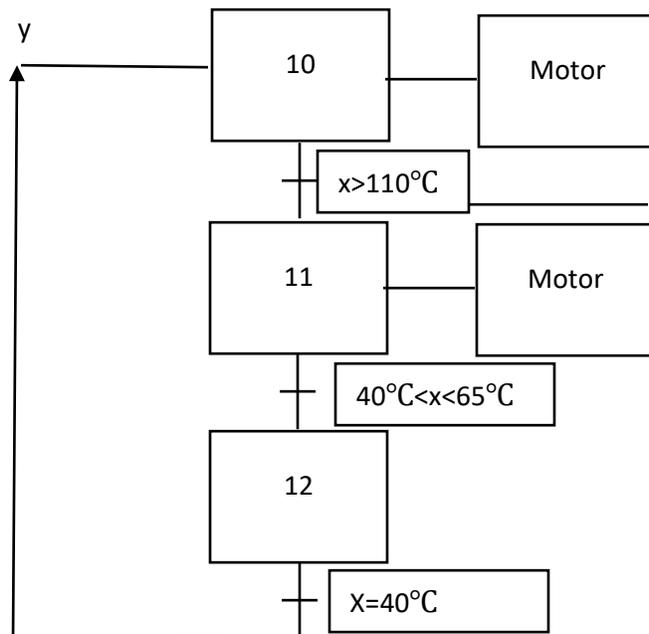
96 Amp.

Nota: Corriente nominal de motor de turbina de 50kW es de 84.5 Amp. a un voltaje de 440V.

5.2.1 Diseño de GRAFCET



Subetapa de GRAFCET



En la primera etapa del GRAFCET comenzando en la *Etapa 0* se observa una transición llamada *Start* la cual da inicio al sistema de lazo cerrado, pasando de la *Etapa 0* a *Etapa 1* donde tanto el motor de 50kW como el sensor se activan.

Seguido de ello se diseñó el GRAFCET con una divergencia OR con condiciones por cumplir. En la línea de la *Etapa 2* se cumple la condición que la temperatura de la recámara de motores no sobrepasa los 110°C , siguiendo a la *etapa 4* en la cual se tiene un tiempo de espera.

Del otro lado de la divergencia OR en la *etapa 3* se presenta la condición en la que la temperatura ha sobrepasado los 110°C , condición en la cual entra el sistema de control en tres etapas diferentes. Entre la *etapa 3*, la transición de temperatura $45^{\circ}\text{C} < x < 65^{\circ}\text{C}$ y la *etapa 5* se activa una alarma y el motor se apaga. Al llegar a la *etapa 7* se cumple la condición que la temperatura es 40°C y el motor vuelve arrancar.

En la *subetapa 10* se diseñó un sistema de control independiente en el cual a partir de la etapa 7, se activa la subetapa 10, revisando nuevamente el control de temperatura validando que la temperatura del motor ha bajado y esta apto para trabajar nuevamente.

5.2.2 Programación

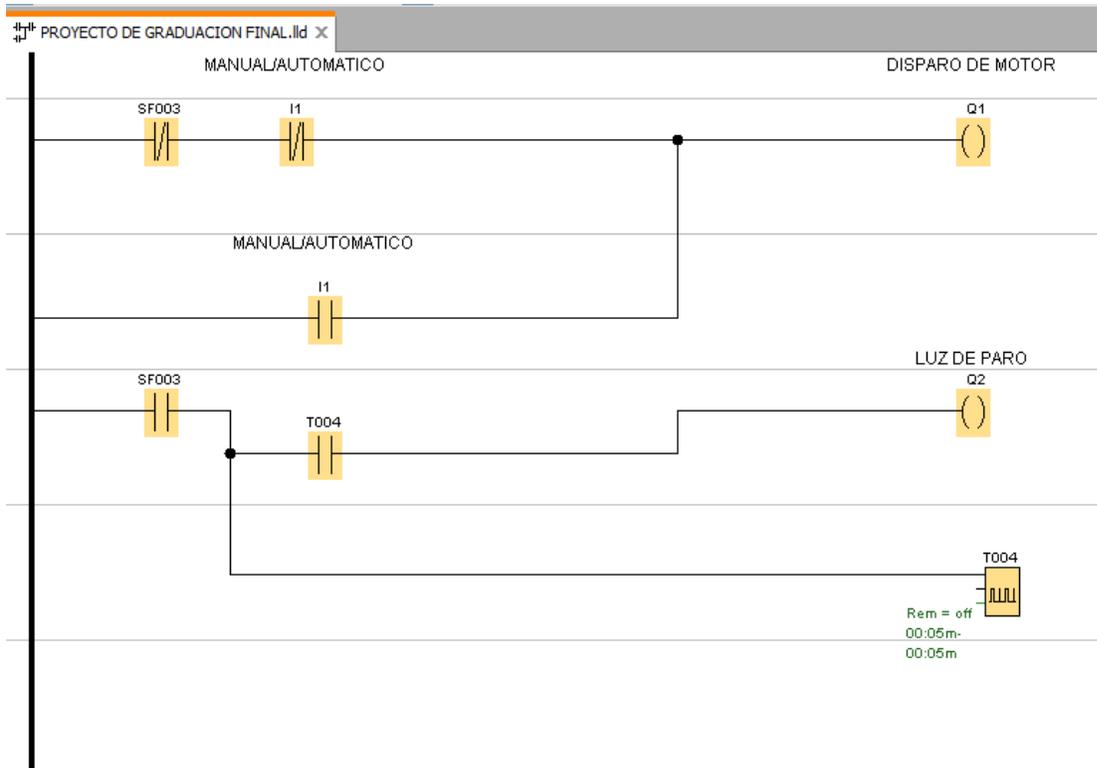


Ilustración 37: Programación KOP PLC. Fuente: Propia

La programación en Ladder presenta un arranque de motor presente en la entrada *I1*, como un interruptor de dos posiciones, en las cuales la *posición 1* con el contacto normalmente cerrado representa la parte automática del proceso, dando opción también para el operario de poder activar el motor de manera manual.

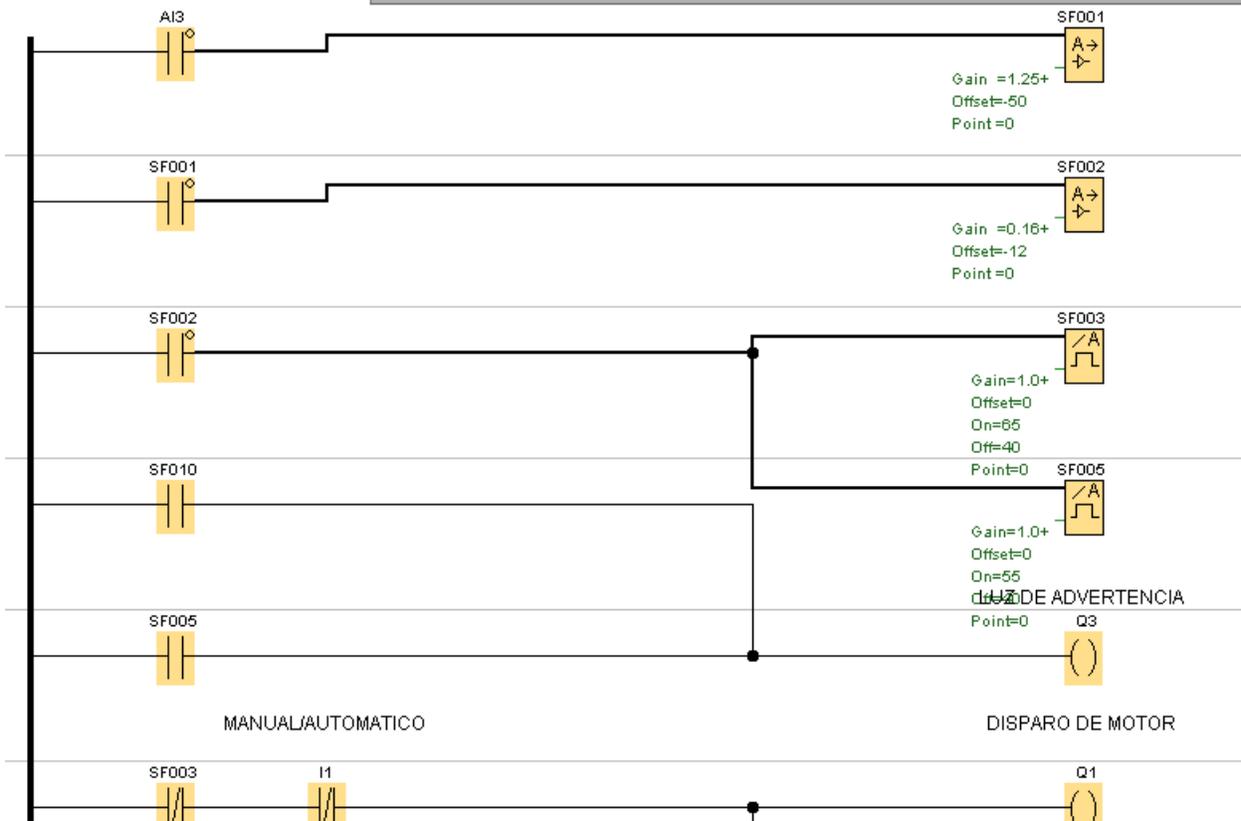


Ilustración 38: Programación KOP PLC. Fuente: Propia

La entrada analógica **AI1** está conectado a un amplificador analógico **SF001**, pasando luego a ser un contacto abierto **SF001** conectado a un amplificador analógico **SF002**, con el fin de filtrar los datos analógicos adquiridos por el sensor en 4.20 mA y convertirlos a datos digitales legibles por el PLC.

SF002 pasa a ser un contacto abierto conectado a un conmutador de valor umbral, conmutador cuyo fin es leer los datos convertidos por el **SF002** y cumplir las condiciones establecidas en el diseño de GRAFCET.

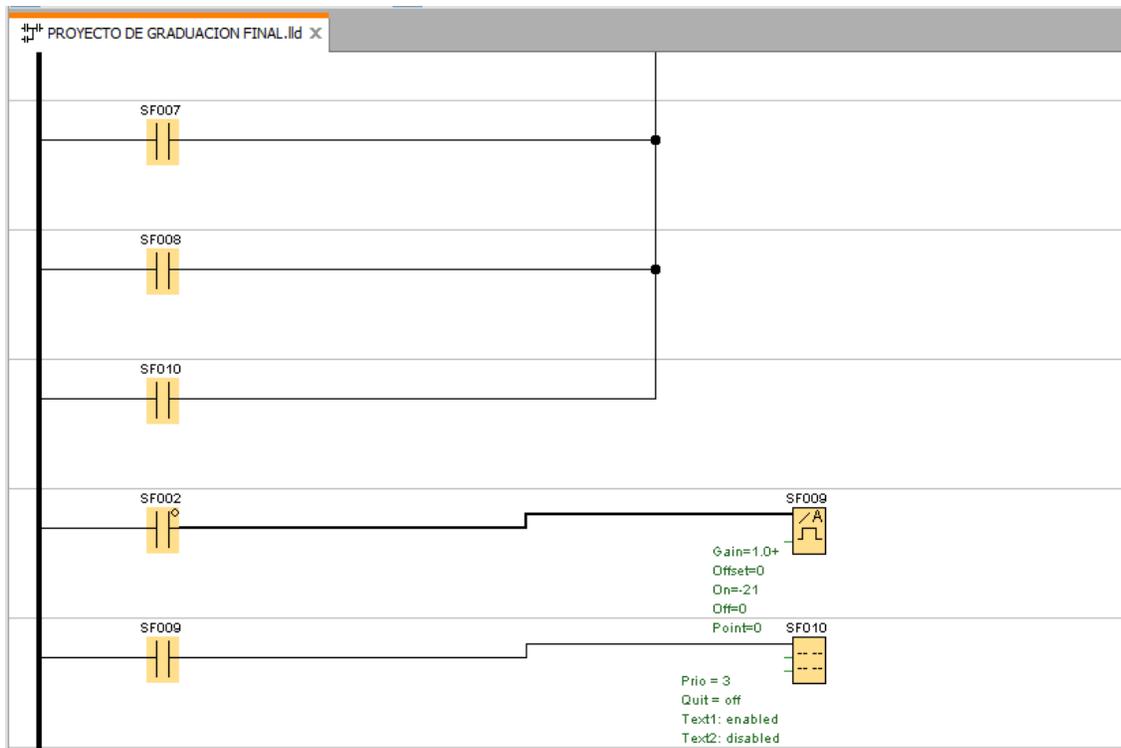


Ilustración 39: Programación KOP PLC. Fuente: Propia

El contacto analógico abierto de **SF002** se utiliza para generar alerta en caso de una posible falla en el sensor de temperatura, conectado a un contacto analógico **SF009**, siendo la condición en la cual **SF002** sea abierto y la temperatura no ha pasado 110°C , este abrirá el contacto **SF010** dando aviso a una falla en el sensor.

5.2.3 Diagrama de fuerza

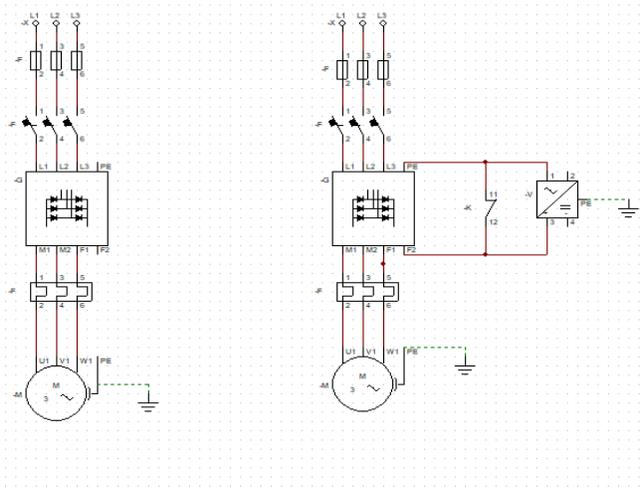


Ilustración 40: Diagrama de fuerza.

Del lado izquierdo se muestra la conexión actual de los motores, al lado derecho se muestra el rediseño. El rediseño cuenta con una conexión de contacto cerrado alimentado a 24V proveniente del PLC, con el fin cortar el flujo eléctrico al motor. El propósito del sistema es reducir costos de reparación por rebobinados.

Req. #	Fecha	Descripción	Ordenado	Precio Unit	Monto
1001319423	10/01/2017 12:00:00 AM	Rebobinar de Motor Trifásico 2549 Rv 52Kw	2	1,280.67	2561.34
1001339687	13/03/2017 12:00:00 AM	Rebobinar de Motor Trifásico 2549 Rv 52Kw	2	1,253.04	2506.08
1001356919	08/05/2017 12:00:00 AM	Rebobinar de Motor Trifásico 2549 Rv 52Kw	2	1,259.90	2519.80
1001366230	02/06/2017 12:00:00 AM	Rebobinar de Motor Trifásico 2549 Rv 52Kw	2	1,260.94	2521.88
1001368782	09/06/2017 12:00:00 AM	Rebobinar de Motor Trifásico 2549 Rv 52Kw	1	1,261.43	1261.43
1001369105	12/06/2017 12:00:00 AM	Rebobinar de Motor Trifásico 2549 Rv 52Kw	1	1,261.43	1261.43
1001448764	12/03/2018 12:00:00 AM	Rebobinar de Motor Trifásico 2549 Rv 52Kw	2	1,261.43	2522.86
					\$ 15,154.82

Tabla 6: Costo por rebobinado de motores.

VI. Conclusiones

Por medio de la siguiente tesis se lograron deducir una serie de conclusiones, que se procuraron alcanzar siguiendo los lineamientos mencionados en los objetivos específicos.

“En términos generales, en un nivel más alto, es una conclusión, una proposición que se mantiene con razonamientos.” (Godoy, 2011, p. 7)

1. Mediante el desarrollo del sistema de protección térmico, surgió la necesidad de cubrir variables externas al monitoreo de temperatura, dichas necesidad llevan al sistema a pasar de un monitoreo superficial, a un monitoreo global, en el cual se implementó el sistema de alarmas múltiples, el cual monitorea incluso los datos del mismo sensor, analizando si este está trabajando en condiciones óptimas, ejerciendo una alarma de advertencia en el caso de fallo del mismo.
2. Se determinó un método predictivo eficiente para motores, muchas fallas por desgaste de componentes se manifiestan por medio de fenómenos térmicos, llámense estos rodamientos, masa de motor, extractor, embobinado, altas corrientes.
3. La factibilidad técnica y económica para la implementar el sistema de protección térmica resultan viables para la empresa, debido al costo de inversión por gasto de reparación en los últimos 14 meses, dando lugar a optar por implementar nuevas tecnologías de protección y monitoreo de los fenómenos físicos que afectan los activos.

4. Las causas de fallo en motores del área quedaron inconclusas, debido a la carrera contra el tiempo, en el tiempo de investigación y trabajo de proyecto, se presentaron dos fallas en dos motores secundarios, no dando paso a poder analizar una tendencia de fallo en motores principales.

VII. Recomendaciones

7.1 Hacia la empresa

- a) Se recomienda a Caracol Knits, implementar el departamento de “Proyectos y Desarrollo Industriales” para el análisis y resolución de tendencias de fallo, con el fin de brindar soluciones eficientes aplicando los principios de automatización, tomando en cuenta siempre los pasos recomendados por el Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, específicamente tomando en cuenta los pasos para rediseño del activo.
- b) También se recomienda la implementación de códigos de cierre para agilizar el proceso de mantenimiento de los activos.

7.2 Hacia la universidad

Se recomienda a UNITEC San Pedro Sula:

- a) Se recomienda reformar el método de enseñanza en la línea de clase de PLC, Redes industriales, vibraciones mecánicas y termodinámica, proveyendo más equipo a los alumnos, permitiendo al estudiante relacionarse de manera más personalizada con las herramientas de dichas clases.
- b) Una vez mejorada la línea de PLC, implementar capacitaciones para potenciar las habilidades del uso de SCADA.
- c) Implementar la clase de circuitos de mando.
- d) Integrar el uso de TIA PORTAL.

VIII. Bibliografía

1. Henao, F. (2014). Riesgos físicos I: ruido, vibraciones y presiones anormales (2a. ed.). Ecoe Ediciones. Recuperado de <https://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitectvirtualsp/detail.action?docID=3198607&query=riesgos+fisicos+l>
2. Ibáñez, J.C. (2013). Alimentación de cargas críticas y calidad de la energía eléctrica. UNED - Universidad Nacional de Educación a Distancia. Recuperado de <https://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitectvirtualsp/detail.action?docID=3216391&query=Alimentaci%C3%B3n+de+cargas+cr%C3%ADticas+y+calidad+de+la+energ%C3%ADa+el%C3%A9ctrica>
3. Soriano, M. C. (2016). Termografía infrarroja. FC Editorial. Recuperado de <https://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitectvirtualsp/detail.action?docID=4849809&query=3.%09Termograf%C3%ADa+infrarroja>
4. Daneri, P.A. (2008). PLC: automatización y control industrial. Editorial Hispanoamericana HASA. Recuperado de <https://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitectvirtualsp/reader.action?docID=4849809&query=3.%09Termograf%C3%ADa+infrarroja>
5. Álvarez Pulido, M. (2003). Controladores lógicos. Marcombo. Recuperado de <https://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitectvirtualsp/detail.action?docID=3173546&query=Controladores+l%C3%B3gicos>
6. Mayol Badía, A. (1988). Autómatas programables. Marcombo. Recuperado de <https://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitectvirtualsp/detail.action?docID=3185163&query=Aut%C3%B3matas+programables>

7. Cubero, E. A. (2007). Teoría de autómatas programables y lenguajes formales. Marcombo. Recuperado de <https://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=3185163&query=Aut%C3%B3matas+programables>
8. Gonzales, E. (2014). Programación de autómatas. Cano Pina. Recuperado de <https://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=3227057&query=Programaci%C3%B3n+de+aut%C3%B3matas>
9. Rodríguez, J.A. (2009). Control de sistemas caóticos. D - Universidad Autónoma de Nuevo León. Recuperado de <https://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=3178438&query=Control+de+sistemas+ca%C3%B3ticos>
10. Barrientos A. (2014). Sistemas de producción automatizados. Dextra Editorial. Recuperado de <https://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=3229680&query=Sistemas+de+producci%C3%B3n+automatizados>
11. El Halabi, N. (2007). Sistemas de control: ganancias de realimentación y observadores de estado. El Cid Editor. Recuperado de <https://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=3173562&query=Sistemas+de+control%3A+ganancias+de+realimentaci%C3%B3n+y+observadores+de+estado>
12. Navarro, J.A. (2012). Sistemas de medida y regulación. Cano Pina. Recuperado de <https://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=3226907&query=Sistemas+de+medida+y+regulaci%C3%B3n>
13. Correcher, A. (2015, p. 25). Control Automático, tiempo continuo y tiempo discreto. Editorial Reverte. Recuperado de

https://gdocu.upv.es/alfresco/service/api/node/content/workspace/SpacesStore/9614371d-38e3-4ce2-945e-bd3f57b6d021/TOC_0310_11_02.pdf?guest=true

14. Muñoz, J. (2014). Control automático I: estrategias de control clásico. Sello Editorial Universidad del Tolima. Recuperado de <https://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=4909273&query=Control+autom%C3%A1tico+I%3A+estrategias+de+control+cl%C3%A1sico>
15. Saucedo Flores, S. (2005). Apuntes de control automático de procesos. Instituto Politécnico Nacional. Recuperado de <https://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=3191798&query=Apuntes+de+control+autom%C3%A1tico+de+procesos>.
16. Sánchez Morillo, D. (2013). Introducción a la síntesis y programación de automatismos secuenciales. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Cádiz. Recuperado de <https://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=3218523&query=Introducci%C3%B3n+a+la+s%C3%ADntesis+y+programaci%C3%B3n+de+automatismos+secuenciales>.
17. Flórez Fernández, H.A. (2010). Diseño lógico: fundamentos de electrónica digital. Ediciones de la U. Recuperado de <https://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=3199073&query=Dise%C3%B1o+I%C3%B3gico%3A+fundamentos+de+electr%C3%B3nica+digital>
18. Novo, P. (2007). Lógica digital y microprogramable. Marcombo. Recuperado de

<https://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=3175457&query=L%C3%B3gica+digital+y+microprogramable>

19. Vilanova, R. (2005). Automatización de procesos mediante la guía GEMMA. Universitat Politècnica de Catalunya. Recuperado de <https://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=3229256&query=Automatizaci%C3%B3n+de+procesos+mediante+la+gu%C3%ADa+GEMMA>.
20. Escalona, I. (2007). Transductores y sensores en la automatización industrial. El Cid Editor. Recuperado de <https://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=3173569&query=Transductores+y+sensores+en+la+automatizaci%C3%B3n+industrial>
21. Navarro, J.A. (2018). Sistemas de medida y regulación (2a. ed.). Cano Pina. Recuperado de <https://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=5349506&query=Sistemas+de+medida+y+regulaci%C3%B3n+%282a.+ed.%29>.
22. Sampieri (2014). Metodología de la investigación (4a. ed.). McGraw-Hill Interamericana. Recuperado de <https://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=4721683&query=sampieri>
23. Biblioteca Universidad de Alcalá (2017). Fuentes de información. Recuperado de <http://www.uah.es/bibliotecaformacion/BPOL/FUENTESDEINFORMACION/index/html>

24. Núñez Mata, O. (2010). Levantamiento de Temperatura en Motores Eléctricos. Recuperado de <http://www.motortico.com/biblioteca/MotorTico/201020OCT%20-%20Levantamiento%20de%20temperatura%20de%20motores%20electricos.pdf>
25. Godoy E. (2011). Como hacer una tesis. Valletta. Recuperado de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=3203446>

IX. ANEXOS

Anexo 1. Masa de motor.



Fuente: Propia.

Anexo 2. Rodamiento frontal de masa de motor.



Fuente: Propia.

Anexo 3. Masa frontal de motor con rozamiento.



Fuente: Propia

Anexo 4. Masa de motor con evidencia de desgaste por rozamiento.



Fuente: Propia