

**REGISTRO DE VARIABLES DE PROCESO DE UNA LINEA ENSAMBLADORA
DE MOTOCICLETAS EMPLEANDO PLC E INTERFAZ HMI**

**JOSE MAURICIO OCAMPO MARULANDA
JAIME DAVID PARRA MARTINEZ**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
INGENIERÍA ELECTRÓNICA
PEREIRA
2013**

**REGISTRO DE VARIABLES DE PROCESO DE UNA LINEA ENSAMBLADORA
DE MOTOCICLETAS EMPLEANDO PLC E INTERFAZ HMI**

**JOSE MAURICIO OCAMPO MARULANDA
JAIME DAVID PARRA MARTINEZ**

Trabajo de grado para optar por el Título de Ingeniero Electrónico

**Director
M.Sc. Mauricio Holguín Londoño
Ingeniero Electricista
Profesor Asistente
Universidad Tecnológica de Pereira**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
INGENIERÍA ELECTRÓNICA
PEREIRA
2013**

Nota de aceptación:

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Pereira, 16 de Diciembre del 2013

DEDICATORIA

- **JAIME**

Quiero dedicar este trabajo a toda mi familia, quiero dedicarlo a cada una de esas personas que siempre en cada instante de mi vida han confiado en mí. Este trabajo va para mis padres Jaime y Miriam los cuales han sido un apoyo incondicional siempre ante cualquier vicisitud, a mi esposa Angélica que en cada segundo que pasa me brinda todo su cariño y me llena de bríos para luchar siempre por nuestros proyectos, a mi abuelita Camila y a mi hermanita Angélica que con sus consejos críticos y sus palabras bonitas me ayudan a ponerle una buena cara a las situaciones difíciles.

También quiero dedicarle este trabajo a mi abuelito Aníbal que en paz descanse, que sé que me está mirando con mucha alegría y que espero que se sienta muy orgulloso de mí ya que fue lo que él siempre quiso.

Los Amo a todos e infinitas gracias por estar siempre a mi lado.

- **MAURICIO**

Dedico este trabajo de grado terminado con gran esfuerzo a mis padres que me apoyaron en todo momento, por su motivación constante y sus consejos que me han llevado a ser una persona con grandes valores y sobre todo a ir siempre por el camino del bien. A mi hermana Diana que desde el cielo sé que siempre me acompaña y está orgullosa de su hermano por esta etapa tan importante de su vida que está por terminar. A mi hermana Paula Andrea que siempre me ha impulsado a ser una persona recta y con su ejemplo de disciplina me ha logrado convencer de que las cosas buenas de la vida se obtienen con esfuerzo y dedicación.

También dedico especialmente este trabajo de grado a mi esposa Eliana y a mi hija Ana Sofía que desde el inicio de mi carrera han sido el motor que me impulsó durante todo este largo proceso y que en los momentos más difíciles de la carrera, bastó solo con un abrazo y unas palabras de aliento para enfocarme nuevamente, recordándome que todo lo que lo hago y los logros que obtengo son para ellas y que cada día me esfuerzo más y más para darles una vida llena de felicidad.

AGRADECIMIENTOS

- **AGRADECIMIENTO GENERALES**

Queremos dar gracias al M.Sc. Mauricio Holguín Londoño por su gran disposición para colaborarnos a cada instante y ser en cada instante muy paciente para explicarnos y guiarnos por un camino de rectitud y buen trabajo.

A nuestros compañeros, Julián Gil, Juan Camilo Moreno, Arles Felipe García, Daniel Flórez Gabriel Gil y Tomás Echeverri por mostrarnos lo mejor de cada uno, por enseñarnos sus valores y virtudes y ayudarnos a sacar lo mejor de nosotros día a día.

Gracias especiales a Don Gustavo Aníbal Sánchez por facilitarnos siempre los materiales necesarios para culminar de buena manera el trabajo planteado, por su apoyo, por su sinceridad y por brindarnos su amistad a cada instante.

Como final, agradecerle a cada uno de los profesores que intervinieron en nuestra formación tanto académica como personal, ya que nos manifestaron todo su conocimiento sin ningún reparo.

- **JAIME**

Como primer elemento, quiero agradecerle a Dios por darme la sabiduría, la paciencia, y la total fortaleza de superar cada uno de los obstáculos que se presentaron durante mi carrera profesional.

A mis padres quiero agradecerles con todas mis fuerzas por siempre creer en mí, en mis capacidades de lograr lo que me propongo, MAMI muchas gracias por tus consejos y por cada uno de los valores que me inculcaste, PAPI te agradezco por apoyarme también a cada segundo, por leerte esta tesis junto a mí y encontrar errores, algún día pronto si Dios quiere, todo se te duplicará.

A mi esposa Angélica por darme todo su amor, su comprensión, por ser esa personita que me apoya en cada locura y en cada decisión; sabes bien que cada cosa que hago es por los dos y para los dos.

Como no agradecerle a mi hermanita y mi abuelita, quienes con sus regaños y sus gestos de amor me llenaban de alegría y ser un motorcito más para culminar lo que siempre quise.

Finalmente a mi compañero Mauricio Ocampo, quién siempre le imprimió energía este proyecto, y a pesar de algunos inconvenientes, pudimos probar ser un excelente equipo.

- **MAURICIO**

Primero que todo quiero agradecerle a Dios todo poderoso que siempre me ilumina y me da fortaleza y entendimiento para enfrentar los retos que la vida me impone día a día. Por iluminar mis pasos, por llevarme en tus brazos en los momentos más difíciles y por permitirme culminar con éxito mi carrera.

Agradezco a mis padres José y Gloria, sin ustedes jamás hubiese podido conseguir lo que he alcanzado hasta ahora. Su tenacidad y lucha insaciable ha sido mi ejemplo a seguir. Por su apoyo, su entrega y sobre todo por ese amor constante que solo unos padres tan maravillosos pueden ofrecerle a un hijo. Mil gracias por cada consejo y cada crítica que aunque en algunos momentos me disgustaron, hoy que soy una persona madura, responsable y honesta entiendo que lo hicieron para convertirme en lo que soy.

Agradezco a mi esposa por cuidar a mi hija hermosa en tantos momentos en los que me la pasaba estudiando y trabajando y por empujarme muchas veces en los momentos que me sentía sin fuerzas para seguir. Amor gracias por no rendirte en este camino tan largo pues sé que hubo muchos momentos de tristeza en los que se sintieron solas, pero gracias a Dios tuviste la fuerza necesaria para estar a mi lado y culminar este proceso tan importante para mí. ¡Te amo!

A mi princesa hermosa que con cada risa, cada abrazo y cada momento de alegría que me brinda me llena de fuerzas sobrenaturales para salir adelante y esforzarme al máximo para brindarle un futuro lleno de prosperidad. Eres lo más hermoso que tengo y la razón de mi vivir.

A Suzuki Motor de Colombia por permitirme ser parte de esta gran compañía durante tantos años y poder sostener mis estudios y mi familia. A mis jefes por la comprensión y el apoyo en los momentos que los necesité y por seguir brindándome su confianza y su experiencia permitiéndome poner en práctica mis conocimientos para convertirme en un gran profesional.

Por último quiero agradecerle a mi compañero Jaime David Parra por su apoyo durante toda la carrera y su gran colaboración en este proyecto.

Mil gracias!

CONTENIDO

	Página
Dedicatoria	
Agradecimientos	
Lista de tablas	
Lista de figuras	
INTRODUCCIÓN	13
1. Planteamiento del problema	14
2. Justificación	16
3. Objetivos	17
3.1 Objetivo general	17
3.2 Objetivos específicos	17
MATERIALES Y MÉTODOS	18
4 PLC (Controlador lógico programable)	19
4.1 Partes fundamentales que constituyen un PLC	19
4.1.1 Puertos de entrada y salida	21
4.1.2 CPU	23
4.1.2.1 Sistema de micro controlador	24
4.1.3 Fuente de alimentación	24
4.1.4 Sistema de comunicación	24
4.1.5 Cables de conexión o buses	25
4.2 Ventajas de un PLC sobre sistemas básicos de control	26
4.3 Áreas típicas de aplicación para un PLC	27
4.4 Algunos lenguajes de programación para un PLC	30
5 Ladder	32
6 HMI (<i>Human Machine Interface</i>)	37
6.1 Tipos de HMI	38
6.1.1 Terminal de operador	38
6.1.2 PC + Software	38

7 Norma UNE 13306	40
7.1 Variables de proceso	42
7.1.1 Fallo	42
7.1.2 Estado en espera	42
7.1.3 Estado de reposo	42
7.1.4 Estado no operativo	42
7.1.5 Estado operativo	42
7.1.6 Tiempo medio entre fallas o MTBF	42
7.1.7 Tiempo medio de paro o MDT	43
7.1.8 Tasa de ocurrencia de fallas	43
7.1.9 Velocidad actual de la línea	43
7.1.10 Conteo de motocicletas	43
7.1.11 Disponibilidad	43
7.1.12 Confiabilidad	44
7.1.12.1 Estado binario	44
7.1.12.2 Multiestado	44
7.1.12.3 Falla dura	44
7.1.12.4 Falla suave	44
7.1.13 Mantenibilidad	44
7.1.14 Tiempo promedio de reparación	44
8 Norma GEMMA	45
8.1 Representación convencional norma GEMMA	46
8.2 Uso de la norma GEMMA	49
8.2.1 Marcha de verificación con orden	49
8.2.2 Paradas de emergencia	50
8.2.3 Parada en un punto	52
8.3 Metodología	52
Capítulo 9 Descripción general de una línea ensambladora de motos	54
10 Hazop	56
10.1 Metodología para Hazop	57
10.1.1 Fase de definición	57
10.1.2 Fase de preparación	57
10.1.3 Fase de examinación	58
10.1.4 Fase de documentación y seguimiento	58

RESULTADOS Y DISCUSIONES	60
11 Diagrama de flujo general y Pseudocódigos principales	61
12 Pantalla HMI	66
13 Aspectos del algoritmo sobre la norma GEMMA	75
14 Aspectos HAZOP para la línea de ensamble	77
15 PLC y diagrama de conexión eléctrica	78
16 Maqueta línea de ensamble	80
17 Conclusiones	88
18 Recomendaciones	90
19 Trabajos futuros	91
20 Bibliografía	92

LISTA DE FIGURAS	Página
Figura 1. Arquitectura de un PLC	20
Figura 2. Protección del PLC de fallas exteriores. L1/N1 está separado de L2/N2	21
Figura 3. Tipo de salida del PLC donde poseen fuente común y su propio fusible de protección	22
Figura 4. Tipo de salida del PLC donde se poseen fuentes o suministros individuales.	23
Figura 5. Diagrama de aplicación conceptual de un PLC	26
Figura 6. Algunos campos de aplicación para el PLC en la industria I.	28
Figura 7. Algunos campos de aplicación para el PLC en la industria II.	29
Figura 8. Algunos campos de aplicación para el PLC en la industria III.	30
Figura 9. Lenguajes de programación para PLC's con sus características	31
Figura 10. Maneras diferentes de dibujar un mismo circuito eléctrico	32
Figura 11. Comparación entre un diagrama con relés y su homólogo en lógica Ladder.	33
Figura 12. Esquema de cómo debe ser leído un diagrama en Ladder.	35
Figura 13. Clasificación de las instrucciones para un PLC en lenguaje Ladder o escalera.	36
Figura 14. Algunos dispositivos que pueden ser conectados a una HMI	38
Figura 15. Gráfica de la clasificación del mantenimiento existente en la norma UNE 13306	41
Figura 16. Estructura modular del diseño estructurado de sistema.	45
Figura 17. Representación de las distintas situaciones o modos de funcionamiento de la norma GEMMA	46
Figura 18. Representación de la marcha de verificación con orden en la norma GEMMA	50
Figura 19. Representación de un paro de emergencia en la norma GEMMA	51
Figura 20. Representación de la parada en un punto en la norma GEMMA	52

Figura 21. Diagrama de flujo para una fase de examinación en la metodología de Hazop	59
Figura 22. Diagrama de flujo básico para el registro de variables de una planta ensambladora de motocicletas.	62
Figura 23. Pantalla de Inicio de HMI	66
Figura 24. Configuración de la producción	67
Figura 25. Pantalla de encendido del sistema	67
Figura 26. Pantalla de producción del día.	68
Figura 27. Pantalla de registro de paradas	69
Figura 28. Pantalla de las variables de proceso más importantes I	69
Figura 29. Pantalla de las variables de proceso más importantes II	70
Figura 30. Pantalla de las variables de proceso más importantes III	71
Figura 31. Diagrama de bloques de proceso pantalla HMI	74
Figura 32. Diagrama de proceso norma GEMMA para la línea ensambladora.	76
Figura 33. Diagrama de conexión eléctrica para la línea ensambladora	78
Figura 34. Maqueta de la línea ensambladora de motocicletas.	81

LISTA DE TABLAS	PÁGINA
Tabla 1. Contactos típicos en Ladder	33
Tabla 2. Bobinas típicas en Ladder	34
Tabla 3. Algunas palabras guía básicas con sus significados genéricos.	58
Tabla 4. Análisis Hazop para la línea de ensamble	77
Tabla 5. Descripción Entradas/Salidas del PLC para controlar la línea de ensamble.	79
Tabla 6. Referencias ideales para la línea ensambladora diseñada	82
Tabla 7. Prueba número 1 para la línea de ensamble diseñada	83
Tabla 8. Prueba número 2 para la línea de ensamble diseñada	83
Tabla 9. Prueba número 3 para la línea de ensamble diseñada	84
Tabla 10. Prueba número 4 para la línea de ensamble diseñada	84
Tabla 11. Prueba número 5 para la línea de ensamble diseñada	85
Tabla 12. Prueba número 6 para la línea de ensamble diseñada	85
Tabla 13. Prueba número 7 para la línea de ensamble diseñada	86
Tabla 14. Prueba número 8 para la línea de ensamble diseñada	86
Tabla 15. Prueba número 9 para la línea de ensamble diseñada	87
Tabla 16. Prueba número 10 para la línea de ensamble diseñada	87

INTRODUCCIÓN

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La automatización en una definición básica, es un sistema en el cual se transfieren tareas de producción, realizadas generalmente por operadores o máquinas de bajos recursos hacia un conjunto más complejo de elementos tecnológicos; para de esta manera, facilitar las tareas que día a día se van presentando en un determinado ambiente y/o empresa [1].

Actualmente, las grandes empresas industriales intentan conseguir que sus compañías se basen más en sistemas de control y de tecnología para así reducir la intervención humana en cada uno de los procesos que son desarrollados en estas; pero al implementar estos sistemas, se encuentran un inconveniente y es el gran costo que genera establecer dicha automatización. Los problemas mencionados se inician en los requerimientos de varios dispositivos entre los cuales se hallan sensores de distinto tipo, elementos electrónicos y la implementación de líneas de programación para procesos secuenciales que se desarrollan en la compañía. Ahora bien, como todos los procesos industriales van cambiando muy rápidamente y se van convirtiendo cada vez en más exigentes, se crea la necesidad de controlarlos de forma más rápida y precisa [2]

Actualmente en las compañías de motocicletas de la región, específicamente en sus líneas de ensamblaje, se cuentan con métodos manuales de registro de información en ámbitos de la empresa que deberían ser más precisos o exactos, como lo son por ejemplo: la cantidad de paros de línea, el tiempo real de paradas, la velocidad actual de la línea, etc.

Al realizar de forma manual estos registros, se induce generalmente a que su gestión sea lenta puesto que requieren mucha atención y cuidado por parte del operador. Así, se abre la posibilidad de cometer errores en la información, además de tener que ingresarla posteriormente en una base de datos para hacer los respectivos informes, siendo esto último un gasto grande de tiempo en los procesos administrativos.

Además, estos métodos manuales dificultan conocer en tiempo real el comportamiento de la producción y de todas sus variables de registro importantes. Por tal motivo, con el fin de minimizar costos y con el firme objetivo de generar un avance en los sistemas de ensamblaje de motocicletas en la región, se realizará el diseño y simulación del proceso automático de registro de variables de proceso del área de ensamblaje de motocicletas, aprovechando como tecnología un PLC (Programmable Logic Controller o Controlador lógico programable) que controla dicho sector en una determinada empresa. Se hará seguimiento y gestión de algunas variables del proceso como: cantidad de paros de la línea, tiempo real de paradas, velocidad actual de la línea y conteo de la cantidad de unidades

producidas. Además, para el adecuado proceso de gestión, se añadirá una interfaz HMI (Human Machine Interface o Interfaz Hombre-Máquina) para la visualización en tiempo real de los registros mencionados, logrando como producto final conocer si la producción actual del día se encuentra en atraso o en adelanto con respecto a lo esperado.

2. JUSTIFICACIÓN

Cuando una empresa logra la capacidad de automatizar algún proceso de un sector específico, inminentemente logra aumentar su producción con respecto a la que venía manejando cuando su sistema era manejando de forma manual. Los operarios generalmente están expuestos a realizar tareas repetitivas o de alto riesgo, produciendo en ellos distintos factores que afectan sus capacidades físicas y mentales, generando por lo tanto una disminución en la producción.

Es aquí, donde la automatización juega un papel sumamente importante tomando la producción de una empresa como su referencia principal; puesto que ya no sólo se tendrán tareas más rápidas y eficientes, sino que también el operador puede ser reemplazado en tareas que requieran condiciones extremas o en las que se necesite precisión. Básicamente, la automatización permite integrar dos grandes conceptos en una empresa: la gestión y la producción [1].

Ahora bien, esta gestión y producción puede ser tomada en las empresas de motocicletas de la región y específicamente en el área de ensamblaje a través de la automatización. Al automatizar se da vía a la gestión de la información, la cual permite analizar qué sector de la línea presenta mayores tasas de paros, mayores incidencias en la producción, etc.

Lo anterior permite diseñar estrategias de producción, de mantenimiento y de planificación [3], donde la presentación de la información empieza a jugar un papel importante. La adecuada gestión y presentación de la información permite conocer si la línea de ensamble está adelantada o atrasada con respecto al plan de producción y posibilitando diseñar métodos para enfrentar la situación de manera mucho más rápida y efectiva.

Es de resaltar que las compañías que se encargan del ensamblaje de motocicletas cuentan entre sus principales dispositivos con uno o varios PLC`s que primordialmente se ocupan de la línea de producción y manejo de alarmas entre otras funciones; por lo cual la simulación automatizada planteada en este proyecto será de gran ayuda para la empresa que desee ejecutarla físicamente, ya que los costos serían menores teniendo en cuenta que la implementación de éste se haría por medio del PLC disponible y únicamente adicionando programación para realizar la adquisición de los datos y la gestión de los registros necesarios para llevar el control y la supervisión del proceso en tiempo real por medio de una interface hombre-máquina (HMI).

3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GENERAL

Desarrollar y simular un sistema de registro de variables de proceso en una línea ensambladora de motocicletas empleando PLC e interfaz HMI.

3.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Planificar el conjunto de variables de proceso (cantidad de paros de línea, tiempo real de paradas, velocidad actual de la línea, conteo de motocicletas) a las cuales se les desea realizar registro y determinar los procedimientos necesarios para su adquisición, acondicionamiento y almacenamiento.
- Elaborar las rutinas para el programa de control de la línea de ensamble con el fin adquirir datos y almacenar registros.
- Elaborar el programa de la HMI para su comunicación con el PLC de la línea.
- Realizar la integración de los diferentes módulos del sistema como son el almacenamiento, acondicionamiento y adquisición de las variables de proceso relevantes junto con las rutinas creadas en el PLC y su interfaz con la HMI.

MATERIALES Y MÉTODOS

4. PLC (Controlador lógico programable)

Todos los procesos industriales necesitan de alguna forma controlar todos sus sistemas si desean que estos corran de manera segura y económica. En años recientes, ha surgido un especialista para realizar dicha tarea, cuya labor ha evolucionado y revolucionado todos los aspectos relacionados con la ingeniería de control, dicho experto es conocido como: PLC (*Programmable Logic Controller* o *Controlador lógico programable*). [3]

El PLC es un controlador que usa circuitos integrados para implementar el control de funciones en lugar de usar dispositivos electromecánicos. Estos dispositivos son capaces de realizar instrucciones secuenciales, aritméticas, además de contar con la posibilidad de manipular datos y así realizar comunicación entre varios conectores, como por ejemplo: computadores e interfaces de visualización de datos; por todo lo anterior, son muy importantes para el control de procesos y maquinaria industrial, como por ejemplo en fabricación de plástico, en máquinas de embalajes, en automóviles, en motocicletas, entre otras; en fin, son posibles de encontrar en todas aquellas maquinarias que necesitan controlar procesos secuenciales, así como también, en aquellas que realizan maniobras de instalación, señalización y control [4].

Además de lo anterior, se puede decir que el gran éxito que poseen dichos dispositivos lógicos programables se debe al hecho de que combinan ampliamente el poder computacional y una inmensa flexibilidad por su precio razonable.

Su historia se remonta hacia 1960, donde la empresa General Motors estaba fuertemente interesada en que las aplicaciones de computadores reemplazaran la secuencia de relés usada en el control de sus plantas de carro automático. Para esta necesidad en particular, aparecieron dos compañías que suplieron dichas especificaciones las cuales fueron: Bedford Associates y Allen Bradley.

Estas dos empresas crearon un computador denominado “procesador central”, el cual fue diseñado e implementado para vivir en un ambiente netamente industrial y era acoplado hacia el exterior por medio de rejillas que tenían tarjetas de entrada y salida que podían ser conectadas en cualquier instante.

Cada una de estas tarjetas podía manejar 16 entradas y 16 salidas, lo cual indica que un arreglo de 8 tarjetas podría ser conectado entonces a 128 dispositivos, dando así una gran variedad de opciones al momento de controlar dicha planta en comparación a lo que los relés les ofrecía [3].

Los PLC cuentan en su interior con una variedad de circuitos electrónicos que se encargan de realizar funciones relevantes con el fin de obtener como resultado final el buen control del proceso que se esté implementando. Dichos circuitos a grandes rasgos se pueden dividir en cinco ítems, ellos son: el sistema de micro

controlador interno, cables de interconexión, las fuentes de alimentación, los puertos de entradas y salidas y a su vez como último elemento, pero no menos importante, su sistema de comunicación.

4.1 PARTES FUNDAMENTALES QUE CONSTITUYEN UN PLC

Es importante conocer la estructura o arquitectura interna de un PLC antes de empezar a usarlo, puesto que al hacerlo se va a garantizar un mejor dominio de cada uno de los beneficios que este dispositivo le puede brindar a la aplicación.

Su estructura interna consiste de una unidad central de proceso conocida como CPU, la cual a su vez contiene el sistema de microprocesador, memoria y todos los circuitos electrónicos de entrada y salida [5].

En la Figura 1 se muestra la arquitectura interna básica de un PLC, allí son expuestos cada uno de los subsistemas que posee dicho dispositivo los cuales posteriormente, serán analizados con más detalle para efectuar un bosquejo general sobre lo que es un controlador lógico programable.

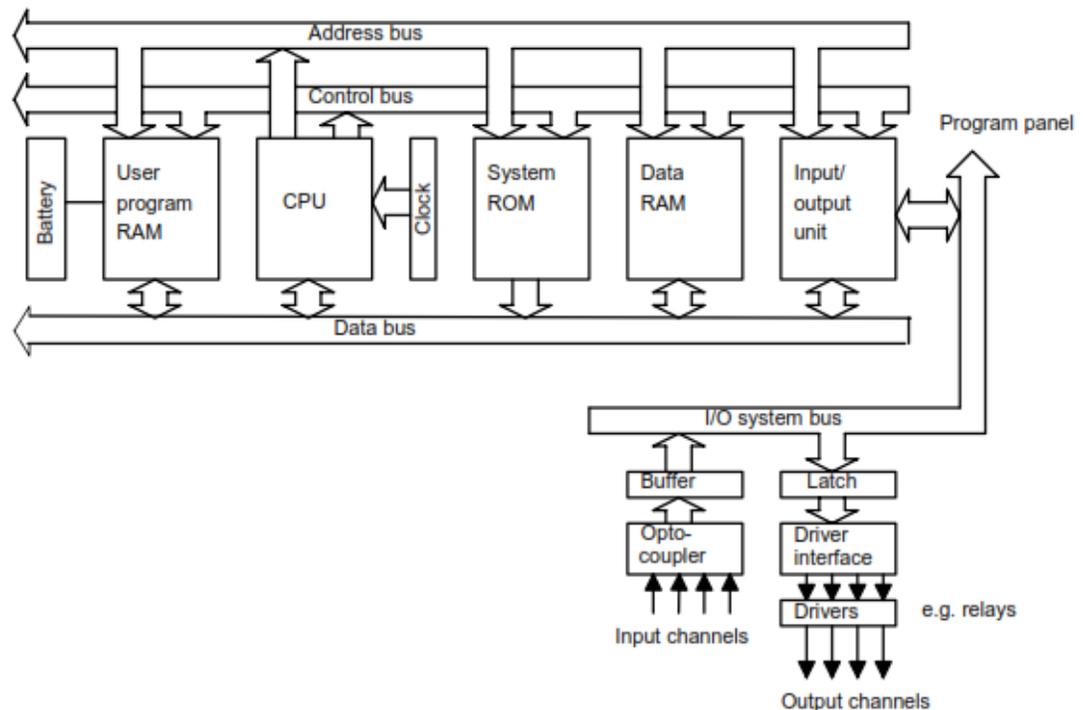


Figura 1. Arquitectura de un PLC [4].

4.1.1 PUERTOS DE ENTRADA Y SALIDA

Las entradas de un PLC deben ser análogas o digitales, debido básicamente a la gran cantidad de instrumentos que se pueden integrar a estos.

Se conoce que internamente un computador o cierto dispositivo suele trabajar a 5V DC, mientras que dispositivos externos como lo pueden ser: motores, solenoides, distintos tipos de swtiches usualmente operan en niveles de tensión por encima de los 110V AC. La mezcla de esto dos tipos de diferencia de potencial podría causar muchos daños en algunos casos hasta irreparables en la estructura interna del PLC; algunos problemas más pequeños pueden ocurrir por el ruido eléctrico producido por sí mismo o por corrientes de carga fluyendo en las líneas de retorno AC o DC.

Por lo anterior, se puede claramente afirmar que existen muy buenas razones para separar los suministros de la planta de los del PLC con una muy buena barrera, asegurando de esta manera que este último no pueda afectar negativamente por nada de lo que ocurra en la planta [3].

Una ilustración que permite dar a conocer lo descrito está expuesta en la Figura 2.

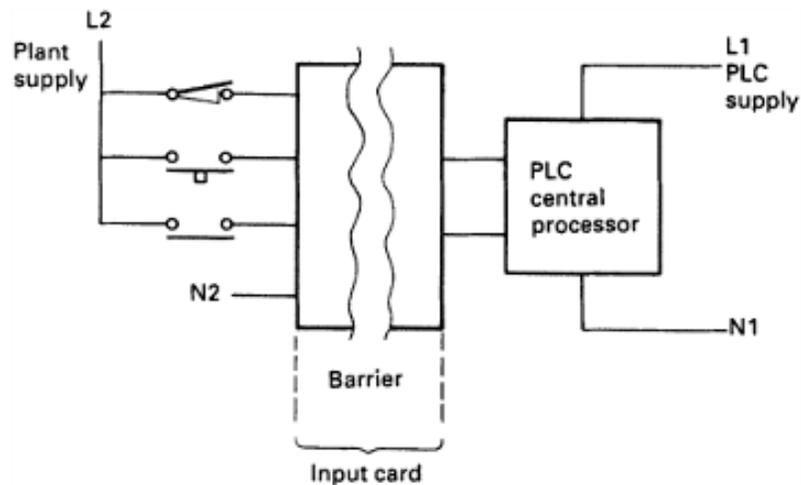


Figura 2. Protección del PLC de fallas exteriores. L1/N1 está separado de L2/N2 [3].

Ahora bien, los puertos de salida requieren también alguna barrera de aislamiento que les permita limitar el peligro de fallas inevitables en la planta y a su vez disminuir de la mejor manera el ruido eléctrico que corrompe las operaciones del procesador [4].

Es importante resaltar que existen dos tipos de puertos de salida; uno de ellos es en el que cada una de las salidas es alimentada por una fuente común, además

de tener su propio arreglo fusible de protección y un breaker común. Dicho arreglo es el más fácil y el más barato de conectar o implementar, y puede ser verificada en la Figura 3.

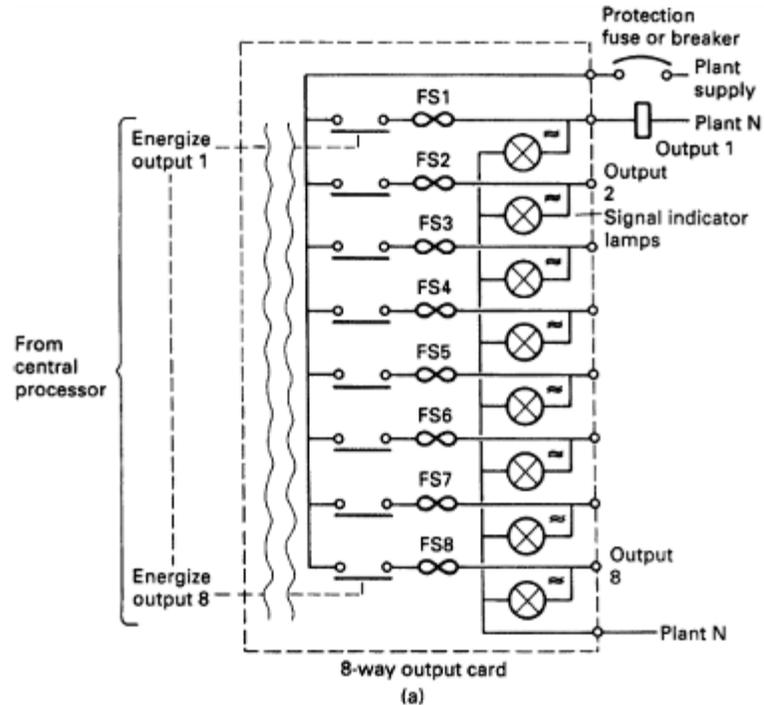


Figura 3. Tipo de salida del PLC donde poseen fuente común y su propio fusible de protección [3].

Por otro lado, existe otra manera de conectar el puerto de salida, dicha conexión es denominada "puerto de salida aislado" el cual tiene salidas individuales al igual que su protección y actúa puramente como un switch. Una ventaja que posee dicho estilo de puerto es que esta puede ser conectada sin ningún tipo de circuito exterior; en contra parte posee una gran desventaja, la cual se fundamenta en el hecho de que es mucho más complicada de implementar (dos conexiones por salida) y su seguridad empieza a flaquear un poco, considerando que en las salidas de este tipo de puertos podrían existir niveles de tensión provenientes de diferentes lugares y dispositivos.

Para dar un mejor vistazo a dicho tipo de puerto, se plantea un bosquejo de este en la Figura 4.

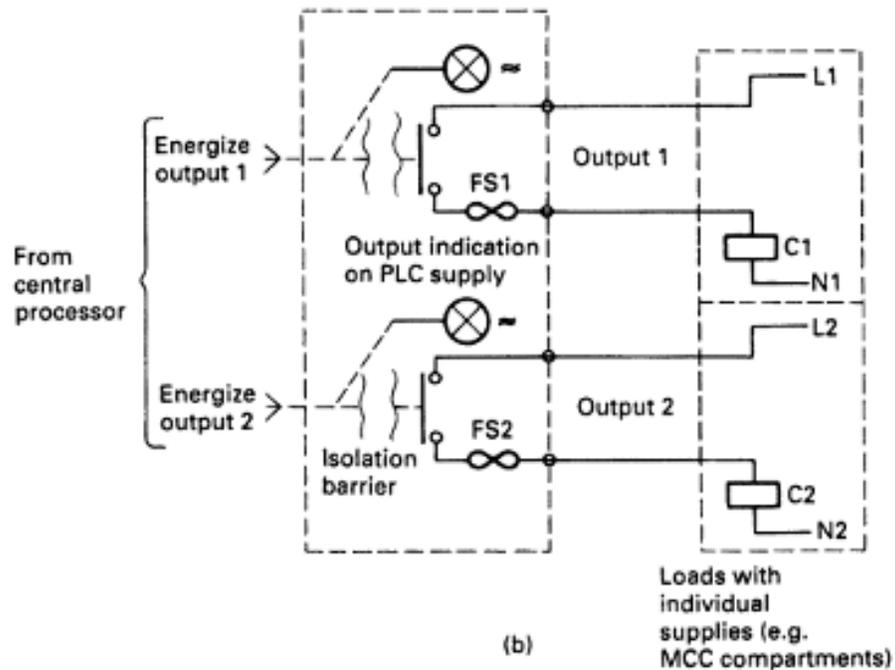


Figura 4. Tipo de salida del PLC donde se poseen fuentes o suministros individuales [3].

Para resumir y sintetizar de cierto manera, se puede comentar que tanto las entradas como las salidas de un PLC son opto aisladas con el fin de proteger dicho dispositivo de altas tensiones que vienen del exterior o del sistema a controlar que bien puede ser de corriente continua o alterna [5].

4.1.2 CPU

La CPU (*Central Processing Unit* o *Unidad de procesamiento central*) es la encargada de efectuar el control y procesar todas las operaciones dentro del PLC. Esta unidad está alimentada por un reloj interno con frecuencias típicas entre 1 y 8 MHz; dicha frecuencia es aquella que determina la velocidad de operación del PLC en sí y provee el sincronismo para todos los elementos del sistema [6].

Dicha unidad de control está constituida por un sistema de micro controladores capaces de ejecutar diferentes funciones grabadas con antelación en la memoria.

Este sistema de micro controladores está compuesto de varios bloques funcionales que cumplen una tarea específica, a continuación serán descritos.

4.1.2.1 SISTEMA DE MICRO CONTROLADOR

El sistema de micro controladores es un sistema que brinda la oportunidad de no cablear un circuito de control para cada situación, ya que permite escribir un programa para instruir al PLC de cómo reaccionar ante cada señal de entrada, dicho sistema de micro controlador permite intervenir y dar los resultados esperados en distintos sistemas: motores o válvulas por ejemplo [5]. Está compuesto por:

- **ALU**

Es una unidad lógica y aritmética, la cual es responsable de la manipulación de datos y realizar operaciones como: AND, OR, NOT, EXCLUSIVE-OR [4].

- **Memoria**

Básicamente, se encarga de guardar información envuelta de la ejecución del programa [6].

- **Unidad de control**

Es el cerebro del micro controlador, puesto que es el encargado de controlar el tiempo de las operaciones [6]

4.1.3 FUENTE DE ALIMENTACIÓN

La fuente de alimentación es un elemento primordial para el funcionamiento del PLC, ya que sin esta ninguno de sus circuitos internos podría funcionar. Generalmente tiene una entrada análoga de 220VAC o 110VAC, además cuenta con salidas para alimentar sensores [7].

4.1.4 SISTEMA DE COMUNICACIÓN

Para abordar este ítem, es importante resaltar que el controlador lógico programable no puede ser programado por sí solo, ya que se requiere elementos ya sea bien, de comunicación serial, o un dispositivo tan simple como un computador.

Es relevante comentar que la información que es transmitida se hace de forma binaria, lo cual hace que generalmente los niveles que se manejen sean TTL (de 0

a 5 V), en algunos casos de una diferencia de potencial mayor [6], para casos de señales industriales en ambientes ruidosos.

4.1.5 CABLES DE CONEXIÓN O BUSES

Los buses son aquellos caminos de comunicación usados en el interior del PLC para conectar cada uno de los módulos; la información es transmitida de forma binaria donde 1 y 0 son estados de encendido/apagado respectivamente [8]. Cabe anotar que al analizar detalladamente la arquitectura interna del PLC (verificar Figura 1) se observa que existen cuatro tipos de buses para este dispositivo o sistema, a continuación serán explicados.

- El *bus de datos* se encarga de llevar los datos del proceso que son desarrollados por la CPU [8].
- El *bus de direcciones* es la encargada de llevar cada una de las direcciones a las posiciones de memoria correspondientes dentro del PLC [8].
- El *bus de control* lleva las señales usadas por la CPU para el control de todo el sistema, es decir, este bus transporta la información que le comunica a los dispositivos de memoria si deben estar listos para recibir o enviar datos de una entrada o una salida respectivamente; además de sincronizar todas las acciones por medio del reloj interno [5].
- El *bus del sistema* está explícitamente encargado de comunicar los puertos de entrada/salida con la unidad de entrada/salida [5].

Todos los componentes expuestos previamente muestran que el controlador lógico programable es un dispositivo que lleva a tomar decisiones sobre una determinada planta o proceso, por medio de ciertas medidas o acciones que la planta vaya realizando y deban ser corregidas según la acción de control. Es por esto, que en la Figura 5 se expone a grandes rasgos un diagrama de aplicación conceptual de un PLC.

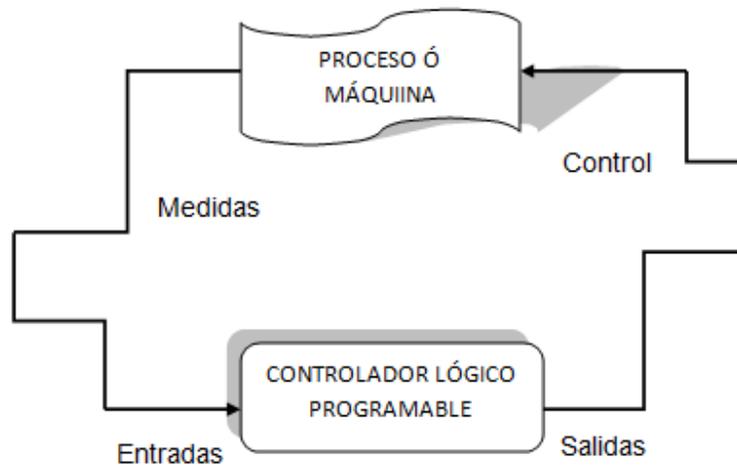


Figura 5. Diagrama de aplicación conceptual de un PLC [4].

Ahora bien, para que un PLC logre cumplir con su función de controlar, es necesario programarlo con cierta información acerca de los procesos que se quiere secuenciar. Esta información es recibida por captadores, que gracias al programa lógico interno, logran implementarla a través de los accionadores de la instalación, es decir, a través de los dispositivos de entradas formados por los sensores (transductores de entradas), se logran captar los estímulos del exterior que son estudiados o verificados por la lógica digital programada para tal secuencia de proceso, que a su vez envía respuestas a través de los dispositivos de salidas (transductores de salidas, llamados actuadores) para así ser realimentado. Es aquí, donde se puede comentar que los PLC puede cumplir la tarea de detección y mando, donde se elaboran y se reenvían datos de acción a los accionadores; además de lo anterior, con su primordial función de programación se pueden introducir, crear y modificar las aplicaciones del programa cuando sea requerido, lo cual induce que gracias a ellos es posible ahorrar tiempo en la elaboración de proyectos, pudiéndose realizar modificaciones sin costos adicionales [4].

4.2 VENTAJAS DE UN PLC SOBRE SISTEMAS BÁSICOS DE CONTROL

Cualquier sistema de control básico cuenta con una cantidad determinada de pasos, desde su concepción como tal hasta llegar al punto final como lo es ver trabajando la planta; para ello un sistema dado por un PLC le brinda demasiadas ventajas a cada una de las etapas que contiene un específico sistema de control.

La primera etapa de control es conocida como el diseño, en dicha instancia se estudian todos los requerimientos a suplir además de cada una de la estrategias

de control que serán implementadas. Si se posee un sistema común y convencional, para empezar la construcción del sistema se necesita que todo esté a la orden del día; mientras que con un sistema basado en la tecnología de un PLC, tan solo es necesario tener una idea aproximada de cuantas entradas y salidas se requieren, ya que de esta manera se podrían permitir algunos errores de cálculo y corregir algunas omisiones inevitables además de admitir futuros desarrollos [3].

Seguidamente viene la etapa de construcción, allí en los esquemas convencionales se observa que cada trabajo es único e independiente, generando de esta manera mucho retraso y quizá costos adicionales. Por su parte, un sistema que cuenta con un PLC es sencillamente un conjunto de partes unidas y complementarias entre sí, evitando las desventajas nombradas anteriormente. Es importante anotar y resaltar que en este punto del proceso el programa en el PLC es empezado [3].

A continuación viene el proceso de instalación, en donde con un sistema normal y básico de control usa una gran cantidad de switches, sensores, actuadores que deben ser cableados de manera cuidadosa y extensiva. Por su lado, los PLC entregan un enorme beneficio en cuestión de costo ya que cuenta con diversos enlaces seriales y simuladores pre-construidos para garantizar el óptimo funcionamiento del sistema [4].

Finalmente se encuentra la puesta en marcha, y es acá donde el PLC saca la mayor ventaja sobre un sistema común y habitual, ya que es muy normal que se cometan errores y obviamente realizar así sea un pequeño cambio a un sistema convencional requieren demasiado tiempo además de ser extremadamente costosos. En contra parte, el PLC ofrece memoria adicional, entradas y salidas anexas que permiten que cualquier cambio pueda ser efectuada de una manera más rápida y eventualmente más económica. Para agregar, se puede decir que los cambios que sean hechos son grabados en el PLC a diferencia de un sistema de control convencional [3].

4.3 ÁREAS TÍPICAS DE APLICACIÓN PARA UN PLC

Desde que el PLC fue diseñado, este ha incurrido exitosamente en muchos campos de la industria, ya que dicho dispositivo puede desenvolverse de una excelente manera en tareas de control, como pueden ser control de encendido/apagado (ON/OFF) el cual es usado para sistemas muy básicos hasta ser capaz de automatizar y vigilar sofisticados procesos de manufactura en la industria.

Desde el cuadro de la Figura 6 hasta el de la Figura 8, se muestran algunos campos en los cuales ha incursionado el PLC de manera exitosa.

QUIMICA	MAQUINARIA/MANUFACTURA
PROCESOS QUIMICOS COMPLEJOS	MONTAJE DE MÁQUINAS
MANEJO DE PRODUCTOS TERMINADOS	TALADRADO
MANEJO DE MATERIALES	GRÚAS
MEZCLAS	DEMANDA DE ENERGIA
PERFORACIÓN DE ALTAMAR	AFILADO
CONTROL PIPELINE	MOLDEO POR SOPLADO
TRATAMIENTO DE AGUAS	TRANSPORTADORA DE MATERIAL
	FUNDICIÓN DE METALES
VIDRIERIA	PINTURA
PESAJE DE DESPERDICIOS	CAPA METÁLICA
FINALIZADO	TRAZADOR DE TORNO
FORMACIÓN	SOLDADURA
CONTROL DE LEHR	
EMPAQUETAMIENTO	METALES
PROCESAMIENTO	CONTROL DE ALTO HORNO
	FUNDICIÓN CONTINUA
BEBIDAS/COMIDA	LAMINADORES
TRANSPORTADORA DE ACUMULADOS	REMOJO
MEZCLADO	
ELABORADO DE CERVEZA	MINERIA
MANEJO DE CONTENEDORES	TRANSPORTADO DE GRANEL
DESTILACIÓN	CARGA Y DESCARGA
PESADO	MANEJO DE DESPERDICIOS

Figura 6. Algunos campos de aplicación para el PLC en la industria I [4].

PROCESAMIENTO DEL VIDRIO	
El PLC se encarga de controlar el horno usado para remover la tensión interna de los productos de vidrio. El sistema controla la operación siguiendo la curva de temperatura del recocido durante el recalentamiento	CONTROL DEL HORNO DE RECOCIDO
EL PLC controla sistema de peso de acuerdo a las formulas previamente guardadas. El sistema además controla los alimentadores electromagnéticos y algunos otros dispositivos	CREACIÓN DE VIDRIO COMPLEJO
El PLC direcciona el sistema de desperdicios, por medio del control del alimentador de desperdicios vibratorio, además todas la secuencias y/o operaciones son mantenidas por el PLC para un uso futuro	PESADO DE DESPERDICIOS
MAQUINARIA	
El PLC controla y monitorea la producción automática de máquinas con una alta eficiencia, también monitorea el conteo de la producción y verifica el estado actual de la maquina, como paso importante, las acciones correctivas pueden ser tomadas inmediatamente si el PLC detecta alguna falla	PRODUCCIÓN DE MÁQUINAS
El PLC es capaz de controlar una máquina cortadora de metal síncrona con una gran cantidad de grupos de herramientas, mostrando el conteo y los reemplazos hechos en cada grupo de herramienta	CAMBIO DE HERRAMIENTAS
El controlador monitorea el tiempo de encendido y apagado de una máquina de alambrado, el sistema provee la sincronización de varios motores, calculándose la eficiencia de cada una de las máquinas	MÁQUINA DE ALAMBRADO

Figura 7. Algunos campos de aplicación para el PLC en la industria II [4].

METALES	
El PLC controla y opera hornos para producir metal de acuerdo a las especificaciones dada. El controlador también calcula los requerimientos de oxígeno y poder, además adiciones de alguna mezcla	FABRICACIÓN DE ACERO
A través de un preciso sistema e peso y secuencias de carga, el sistema controla y monitorea la cantidad de carbón, de hierro para ser mezclado	CARGA Y DESCARGA DE MEZCLAS
El PLC direcciona la cuchara transportadora de hierro hacia la máquina de fundición continua, donde el hierro es agregado a un molde de agua para su solidificación	FUNDICIÓN CONTINUA
FUENTES DE PODER	
El controlador lógico programable regula la apropiada distribución de la electricidad disponible, gas o vapor, En adición, el PLC monitorea las facilidades de la central eléctrica, calendarios de distribución de energía y genera reportes de distribución.	SISTEMAS DE PLANTAS DE PODER

Figura 8. Algunos campos de aplicación para el PLC en la industria III [4].

4.4 ALGUNOS LENGUAJES DE PROGRAMACIÓN PARA EL PLC

A través del tiempo, el desarrollo de la tecnología sobre PLC`s ha aumentado de una manera positiva, lo cual ha permitido que estos dispositivos incursionen cada vez más en el ambiente de la maquinaria industrial frente a esto hay que tener en cuenta que en ambientes industriales el PLC recibe el seudónimo de API (Autómata programable industrial), estos utilizan como interface para el usuario

pantallas de plasma, pantallas de contacto o sistemas SCADA (Sistemas para la adquisición de datos, supervisión, monitoreo y control de procesos) [9]. Es por lo anterior, que ha existido un gran desarrollo paralelamente en sus lenguajes de programación, que hoy en día poseen instrucciones más versátiles las cuales pueden iniciar inmediatamente acciones de control, por tal motivo, se expone en el cuadro de la Figura 9 los tipos de lenguaje más importantes existentes, sus características, y se muestra si pertenecen a un lenguaje de alto o bajo nivel de programación, dichos lenguajes se rigen bajo la norma IEC 61131-3 que rige los lenguajes de programación para los automatismos [10].

Lenguaje	Características	Ejemplos	Tipo	Nivel
Listas	Lista de instrucciones	IL	Escrito	Bajo
		AWL		
		SLT		
		IL/ST		
Plano	Diagrama Eléctrico	LADDER	Visual	Alto
		LD		
		KOP		
Diagrama de Bloques Funcionales	Diagrama Lógico	FBD		
		FBS		
		FUD		
Organigrama de Bloques Secuenciales	Diagrama Algorítmico	AS		
		SFC		
		PETRI		
		GRAFSET		
Otros		BASIC C	Escrito	

Figura 9. Lenguajes de programación para PLC's con sus características [9].

5. LADDER

Ladder (Escalera) es un lenguaje de programación para PLC, donde sus principales características están basadas en esquemas eléctricos principalmente para desarrollar control, describiendo la operación eléctrica de distinto tipo de máquinas.

Dicho lenguaje consta de un gran éxito, debido a que presenta una facilidad muy notoria con respecto a otros lenguajes o entornos al momento de programar, ya que éste incluye fácilmente procesos de reemplazos de relés, temporizadores, contadores y otros elementos fundamentales al momento de implementar en el PLC [11].

Para dar una introducción a los diagramas realizados en ladder, se puede considerar un ejemplo muy básico de cableado expuesto en la Figura 10. Allí en su parte izquierda, muestra un circuito que realiza el apagado o el encendido de un motor mediante un switch que efectúa dicho cambio; a su parte derecha en contra parte, se observa que el mismo diagrama es representado de una manera alterna usando dos líneas verticales para representar la línea de alimentación y el resto del circuito entre ellas; a este último se le conoce como *diagrama en ladder*.

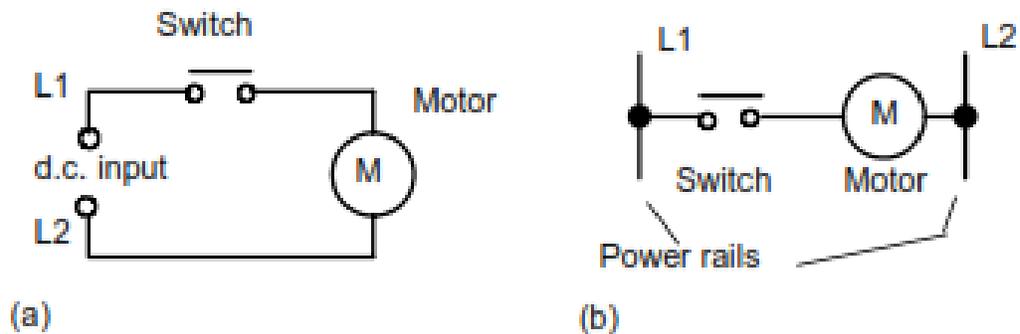


Figura 10. Maneras diferentes de dibujar un mismo circuito eléctrico [5].

Ladder es un lenguaje de programación resultante basado primordialmente en símbolos eléctricos básicos, como por ejemplo el relé. En la Figura 11 se muestra la comparación de un esquema lógico con relés y una representación en Ladder del mismo circuito, con el fin de reforzar la información suministrada en el párrafo anterior y en la Figura 10.

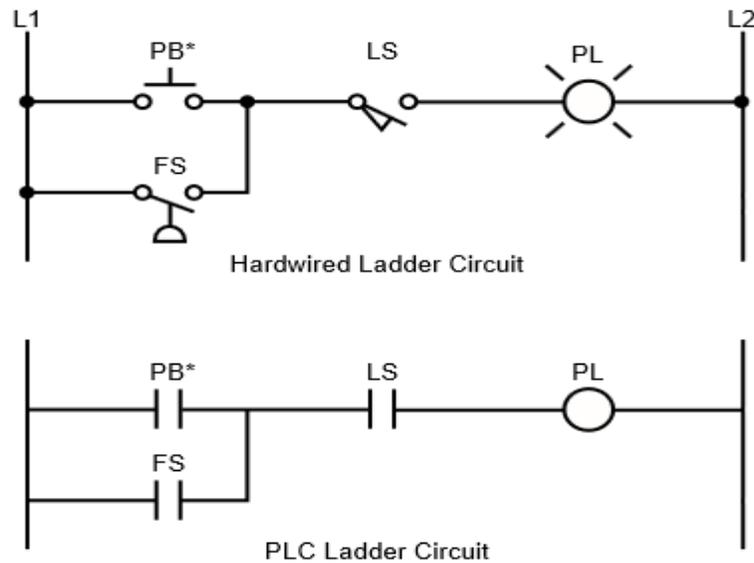


Figura 11 Comparación entre un diagrama con relés y su homólogo en lógica Ladder [4].

Observando la Figura 11, se puede aseverar que la línea vertical que aparece más a la izquierda muestra un conductor con tensión, mientras la línea vertical más a la derecha representa el neutro o tierra. Ladder presenta específicamente una serie de bobinas y contactos con los cuales se realizan distintas operaciones, donde se puede describir y sintetizar básicamente sistemas eléctricos o de control, que posteriormente podrían ser implementadas sobre un PLC contando obviamente con un software adecuado.

Dichos contactos y bobinas típicas, se expone en las Tablas 1 y 2 respectivamente.

Tipo de Contacto	Visualización	Pasa corriente cuando...
Normalmente abierto	— —	La referencia está ON
Normalmente cerrado	— / —	La referencia está OFF

Tabla 1 Contactos típicos en Ladder [12]

Tipo de Bobina	Visualización	¿Corriente a la bobina?	Resultado
Normalmente abierta	—()—	Si	Referencia ON
		No	Referencia OFF
Inversa	—(/)—	Si	Referencia OFF
		No	Referencia ON
Transición Positiva	—(↑)—	No → Si	Ref. ON durante un barrido
Transición Negativa	—(↓)—	Si → No	Ref. OFF durante un barrido
Set	—(S)—	Si	Ref. ON hasta que se apague con "R"
		No	Sigue igual
Reset	—(R)—	Si	Ref. OFF hasta que se active con "S"
		No	Sigue igual

Tabla 2 Bobinas típicas en Ladder [12]

Ahora bien, es importante agregar que ladder posee ciertas convenciones que deben ser adoptadas:

- Las líneas verticales del diagrama, representan las fuentes de poder entre los cuales los circuitos están conectados.
- Cada escalera o peldaño del diagrama representa una operación en el sistema de control.
- Siempre un diagrama de ladder debe ser leído de izquierda a derecha y de arriba hacia abajo, como se muestra en la Figura 12

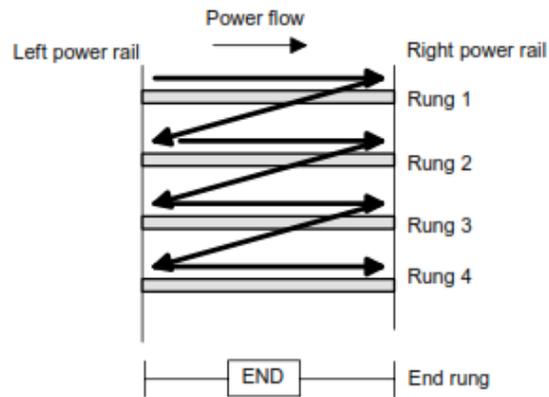


Figura 12 Esquema de cómo debe ser leído un diagrama en ladder [5].

- Cada peldaño de la escalera, debe empezar con una o más entradas y debe terminar con al menos una salida; es decir, siempre debe haber una acción de control, sea por ejemplo que se cierre o se abra un contacto de una bobina, que genere una salida para cierto dispositivo que esté conectado al PLC.
- Siempre los dispositivos eléctricos deben ser mostrados en su estado normal hasta que algún objeto los cierre, en otras palabras, si un contacto es normalmente cerrado debe ser siempre mostrado de esta manera.
- Las entradas y las salidas mostradas en el diagrama de ladder o escalera son identificados por sus direcciones dentro de la memoria. [5]

Ahora bien, la evolución de la programación en ladder para los PLC ha estado creciendo día a día, y ha permitido que actualmente se maneje una gran variedad de funciones (instrucciones que realizan una función específica sobre un dato) que implican que el lenguaje ladder sea cada vez más útil y poderoso ya que se puede transferir y manejar datos dentro del controlador programable.

Existe otro lenguaje conocido como: *ladder mejorado*, su diferencia principal con el ladder básico es que contiene una función de bloques que permite aplicar instrucciones específicas sobre un determinado bloque de datos. En el cuadro de la Figura 13, se muestra una típica clasificación del lenguaje ladder básico y el mejorado.

Ladder Básico	Ladder Mejorado
Contacto de relé	Raíz Cuadrada
Salida de Relé	Mover registro
Temporizador	Mover registro a una tabla
Contador	Cambiar registro
Comparación	PID
Ir a/Saltar a	Matriz Lógica
Suma	Bloques de transferencia
Resta	Rotar registro
División	Clasificador
Multiplicación	Secuenciador

Figura 13 Clasificación de las instrucciones para un PLC en lenguaje ladder o escalera [5].

6. HMI (*Human Machine Interface*)

La sigla HMI es la abreviación en inglés de Interfaz Hombre Máquina. Dichos sistemas pueden ser vistos como una especie de cuadro o ventana que se refieren a un proceso específico que se está realizando generalmente en dispositivos de entrada/salida como por ejemplo: RTU (Unidades remotas de I/O) o en este caso específico, un controlador lógico programable o PLC [13].

Para generalizar un poco más, se puede asentar que una HMI es un sistema que permite intervenir y monitorear distintos dispositivos remotos, tales como PLC's entre otros mecanismos de control, es decir, es el medio por el cual el usuario puede comunicarse con la máquina que está trabajando, dicha interfaz como característica principal comprende todos los puntos de contacto entre el usuario y el equipo, además de contar como valor agregado que suelen ser fáciles de entender y de accionar.

A continuación, se mostrarán las funciones principales que debe realizar una interfaz hombre máquina (HMI).

- Puesta en marcha y paro.
- Control de las funciones manipulables del equipo.
- Manipulación de archivos y directorios.
- Herramientas de desarrollo de aplicaciones.
- Comunicación con otros sistemas.
- Información de estado.
- Configuración de la propia interfaz y entorno.
- Intercambio de datos entre aplicaciones.
- Control de acceso.
- Sistema de ayuda interactivo [13]

En la Figura 14, se muestra una imagen que ilustra algunos dispositivos con los cuales es compatible una HMI, cabe anotar que es sumamente esencial que dichos módulos posean un lenguaje de comunicación que la HMI entienda.

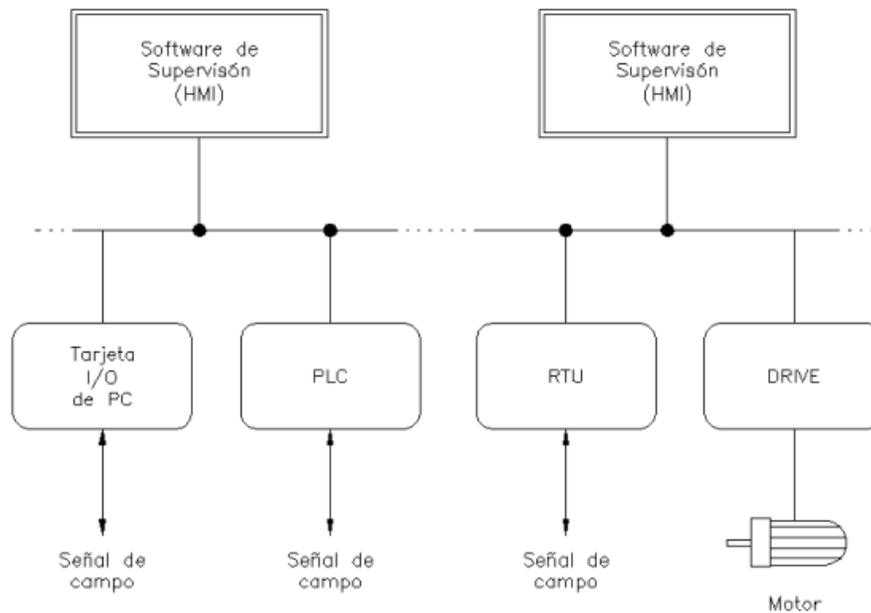


Figura 14 Algunos dispositivos que pueden ser conectados a una HMI [13].

6.1 TIPOS DE HMI

En la actualidad, dado que las máquinas y cada uno de los procesos hechos en la industria están siendo implementados por controladores y algunos otros dispositivos electrónicos, es posible contar con sistema de Interfaz Hombre Máquina mucho más poderosos, eficaces y eficientes; logrando así que la comunicación y la conexión entre dispositivos sea más sencilla y económica.

Es por tal motivo, que a continuación se mostrarán algunos tipos de HMI usados actualmente en la industria y en el mercado.

6.1.1 Terminal de operador:

Es un dispositivo que es usado para ser instalado en ambientes agresivos donde solamente pueden ser de despliegues numéricos, alfanuméricos o gráficos, incluyendo que pueden ser de tecnología “touch screen o sensible al tacto” [14].

6.1.2 PC+ Software:

En dicho tipo de HMI, se carga un software apropiado para la aplicación que se vaya a realizar. Cuando se habla de PC se refiere a un dispositivo específico que exija el proyecto, pueden ser industriales que son utilizados generalmente para

ambientes pesados o los de panel que se instalan dando apariencia de terminales de operador [14].

El software que se carga a la HMI, se encarga de realizar una interfaz gráfica para que el usuario pueda ver siempre el proceso e interactuar con él; además, se pueden manejar alarmas y efectuar un registro en tiempo real e histórico de todos los datos que se están manejando y se han manejado.

Ahora bien, la comunicación de los dispositivos con elementos externos como lo pueden ser PLC's, se da mediante un software especializado denominado servidor de comunicaciones, este se encarga de establecer un enlace entre los dispositivos y el software de aplicación HMI los cuales son sus clientes [14].

Actualmente, existe una técnica estandarizada conocida como OPC (Ole for Process Control), el cual es un estándar de comunicación en el campo de control y procesos industriales [15].

7. NORMA UNE 13306

La norma UNE 13306 es un estándar europeo creado para destacar o tener contenido en sí, todos los términos pertinentes al área de mantenimiento de máquinas. A partir de ella, se dan las bases principales para que el área de mantenimiento de cualquier empresa defina su estrategia de manutención de acuerdo a tres principales criterios:

- Se debe garantizar siempre la disponibilidad del equipo que se necesite, intentado que su costo monetario sea mínimo.
- Considerar requerimientos de seguridad básicos para la máquina tanto en el ámbito del mantenimiento como el uso personal, además de ser responsable con el impacto ambiental que podría causar.
- Garantizar siempre la calidad y la durabilidad del dispositivo minimizando cualquier costo adicional [16].

Ahora bien, cabe anotar que dicha norma alberga algunos conceptos de clasificación según las operaciones de mantenimiento que se ejecuten o realicen. En el primer escalón se encuentran el mantenimiento preventivo y correctivo, este primero es aquel tipo de mantenimiento que se efectúa a intervalos determinados o de acuerdo con criterios ya preestablecidos con el fin de evitar la degradación de cierto elemento.

Dicho mantenimiento, se divide en dos subniveles:

- **Mantenimiento basado en condición:** Su fundamento se encuentra en realizar o emplear algunas técnicas que predigan las averías de cierto elemento, es decir, de efectuar un monitoreo previo al sistema para analizarlo y así de esta manera, realizar una acción [17].
- **Mantenimiento sistemático:** Es aquel mantenimiento tradicional en el cual se siguen de una manera muy fiel las recomendaciones hechas por los fabricantes y por las normativas específicas de las instalaciones técnicas de obligado cumplimiento [17].

Por otro lado, se encuentra el mantenimiento correctivo el cual es utilizado después del reconocimiento de una avería para llevar a cierto elemento a cumplir

una determinada función, de igual manera, existen dos tipos de mantenimientos correctivos que serán expuestos a continuación:

- **Mantenimiento inmediato:**
Es un mantenimiento que debe ser realizado de manera urgente, con el fin de evitar consecuencias mayores para la empresa en cuestión monetaria y de seguridad [17].
- **Mantenimiento programable:**
Es un mantenimiento que no es efectuado inmediatamente, sino que se retrasa de acuerdo a reglas ya preestablecidas [17].

Para dar una mejor ilustración a dichos conceptos de clasificación, en la Figura 15 pueden ser verificados de una manera más gráfica los subniveles existentes entre dicha categorización.

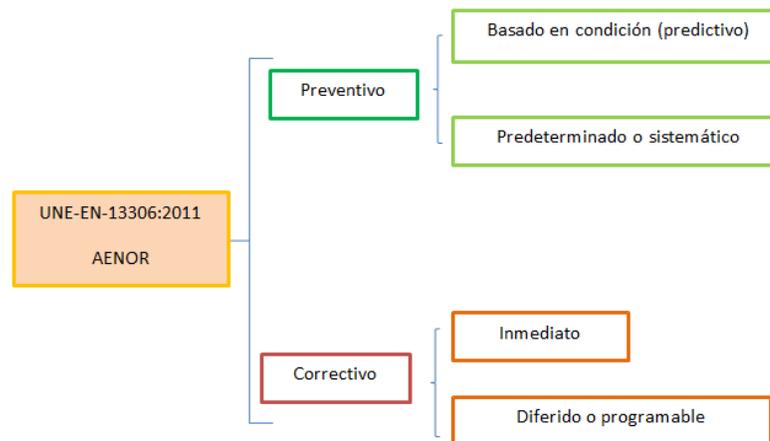


Figura 15 Gráfica de la clasificación del mantenimiento existente en la norma UNE 13306 [17].

7.1 VARIABLES DE PROCESO

Las variables de proceso son todos aquellos elementos que podrían cambiar drásticamente las condiciones de un determinado proceso industrial [18]. A continuación, se nombrarán algunos términos que son sumamente relevantes al momento de tratar sobre el estándar UNE 13306 y llevan a determinar las principales variables de proceso de cierto sistema.

7.1.1 Fallo

Es el estado de un ítem caracterizado por la invalidez de efectuar una función, excluyendo el mantenimiento preventivo y la falta de fuentes externas [16].

7.1.2 Estado en espera

Es un estado no operativo del sistema durante un tiempo en demanda [16].

7.1.3 Estado de reposo

Es un estado donde el sistema no está operando durante un tiempo no en demanda [15].

7.1.4 Estado no operativo

Se denomina estado no operativo, a todo aquel ítem o dispositivo que no es capaz de realizar una función por una determinada inhabilidad o falla [16].

7.1.5 Estado operativo

Se denomina estado operativo, a todo dispositivo capaz de desempeñar una función requerida, asumiendo que las fuentes externas si se necesitasen, estuvieran disponibles [18].

7.1.6 Tiempo medio entre fallas o MTBF (Mean Time Between Failures)

Se define como el tiempo promedio de las fallas de un ítem en un periodo de tiempo por el cual ha sido observado, como se expone en la ecuación 7.1.1 [16].

$$MTBF = \frac{\textit{Tiempo promedio de las fallas}}{\textit{Tiempo total que ha sido observado}} \qquad \textit{Ecuación 7.1.1}$$

7.1.7 Tiempo medio de paro o MDT (Mean Down Time)

Es el tiempo promedio que transcurre desde que un sistema se encuentra en su estado no operativo, esto incluye las correcciones, mantenimiento preventivo y otras demás situaciones que obliguen a que el sistema no esté en funcionamiento [16].

7.1.8 Tasa de ocurrencia de fallas

Es el número de fallas de un ítem en un intervalo de tiempo dado, dividido por el intervalo de tiempo en el cual fue estudiado u observado, como se presenta en la ecuación 7.1.2 [16].

$$\text{Tasa de ocurrencia de fallas} = \frac{\text{Numero de fallas}}{\text{Tiempo observado}} \quad \text{Ecuación 7.1.2}$$

7.1.9 Velocidad actual de la línea

Es la velocidad con la que la línea de producción está actualmente trabajando, de acuerdo a tiempos estandarizados establecidos.

7.1.10 Conteo de motocicletas

Sistema para determinar el número de unidades ensambladas en un esquema de producción, dicho conteo es sumamente importante ya que este fundamental para determinar si la producción actual va de acuerdo con lo esperado o proyectado.

7.1.11 Disponibilidad

Es el estado en el cual se desempeña una función determinada bajo unas condiciones dadas en un instante o intervalo determinado de tiempo.

Para calcular el valor de la disponibilidad, se usa la siguiente fórmula mostrada en la ecuación 7.1.3 [19]:

$$\text{Disponibilidad} = \frac{\text{Estado operativo}}{\text{Estado operativo} + \text{Estado No operativo}} \quad \text{Ecuación 7.1.3}$$

7.1.12 Confiabilidad

Es la capacidad de un ítem de desempeñar una función que se necesita bajo condiciones predeterminadas y por un intervalo de tiempo definido.

Su resultado durante dicho periodo de tiempo puede ser clasificado en cuatro categorías:

7.1.12.1 Estado Binario: La función de un producto o dispositivo, puede fallar o tener completo éxito.

7.1.12.2 Multiestado: El desempeño del producto, puede ser completamente exitoso, parcialmente exitoso o fallar.

7.1.12.3 Falla dura: Es una falla catastrófica que causa una suspensión completa de la función.

7.1.12.4 Falla suave: Es la parcial pérdida de funcionalidad. Este tipo de falla ocurre generalmente en el multiestado, cuando se dice que un objeto está en degradación [20].

7.1.13 Mantenibilidad

Es la capacidad que tiene un sistema bajo condiciones dadas de uso, de ser conservado o restaurado a un estado en el cual realice una función requerida [19].

7.1.14 Tiempo promedio de reparación (MTTR)

Es el tiempo promedio para llevar a cabo una acción de mantenimiento [19].

$$MTTR = \frac{\textit{Tiempo total para hacer mantenimiento}}{\textit{Cantidad de acciones de mantenimiento realizadas}} \qquad \textit{Ecuación 7.1.4}$$

8. NORMA GEMMA

Es una norma que pretende dar cabida a una metodología que incluya los modos de marcha y paro del control secuencial de un sistema, además busca garantizar el funcionamiento correcto del proceso que se está controlando e inclusive la prevención de grandes desastres si en algún momento se deteriora el sistema o presenta anomalías.

Agregando a lo anterior, uno de los principales objetivos de la norma GEMMA es ofrecer una información muy detallada del sistema en clave de estados posibles usando para dicho fin una metodología ordenada y estructurada [21].

Un elemento que se debe tener en cuenta, es que al automatizar un determinado proceso en la industria o en otro ambiente, van a existir muchísimas complicaciones debido a la cantidad de factores que influyen en esta. Es por tal motivo, que la norma GEMMA posee su diseño estructurado que le permite modelar de forma parcial sus tareas.

Dicho sistema estructurado posee tres módulos que le permiten controlar mejor la información de un sistema automatizado. Por tal razón, que en la Figura 16 se expone su estructura modular.

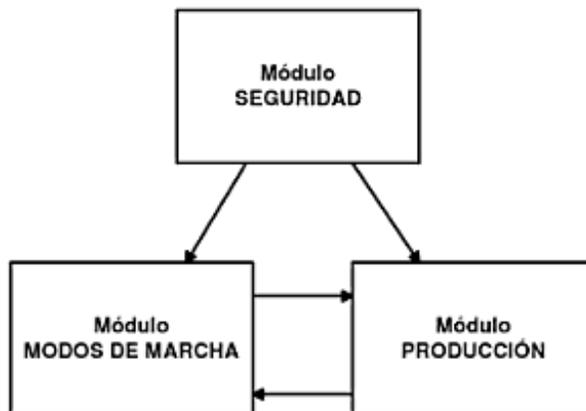


Figura 16. Estructura modular del diseño estructurado de sistema [21].

8.1 REPRESENTACIÓN CONVENCIONAL NORMA GEMMA

La guía GEMMA muestra tres situaciones fundamentales al momento de describir o generalizar cierto proceso, obviamente dichas situaciones son referidas a cuando el sistema está alimentado ya que para desde el punto de vista de la automatización, un sistema sin alimentar es muy poco relevante o interesante. Ahora bien, dichas situaciones primordiales son:

- **Funcionamiento:** Se refiere a dicha situación en la cual el sistema se encuentra en producción normal. Se describe por la letra F.
- **Parada:** Apunta hacia aquella situación que se encuentra en paro o en proceso de parada. Se describe por la letra A.
- **Defecto:** Situación en la cual no se está produciendo, o el producto final no se puede aprovechar o sacar beneficio de este. Se describe por la letra D [22].

En la Figura 17 es mostrada la representación de los modos de funcionamiento en la norma GEMMA.

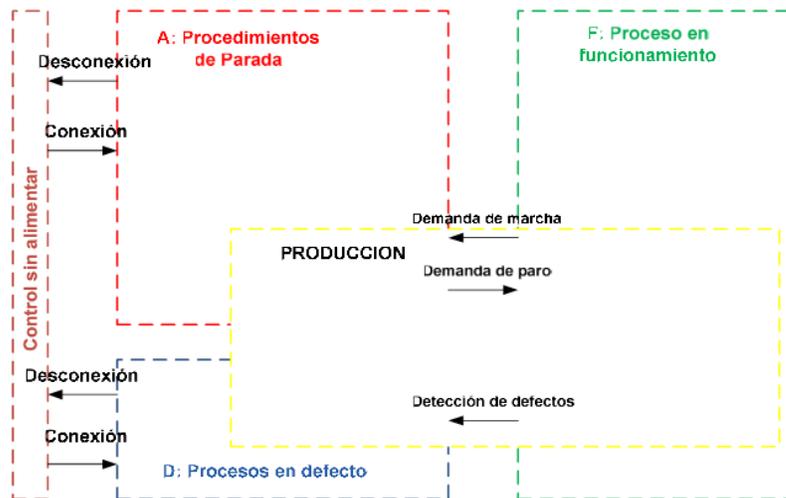


Figura 17. Representación de las distintas situaciones o modos de funcionamiento de la norma GEMMA [23].

Considerando la información anterior, se puede inferir que cada uno de estos tres módulos contiene distintas subdivisiones que son descritas a continuación:

Grupo F (Procedimientos de funcionamiento)

- **F1:** Producción normal. Estado en el cual la máquina está realizando la tarea para la cual fue concebida.
- **F2:** Marcha de preparación. Son todas aquellas acciones necesarias para que la máquina pueda entrar en producción.
- **F3:** Marcha de finalización: Aquellas operaciones que se deben efectuar antes de realizar la parada del sistema.
- **F4:** Marcha de verificación sin orden: Permite certificar movimientos individuales del ciclo, sin respetar el orden habitual, es asimilable a la intervención del operario en la forma de control manual.
- **F5:** Marcha de verificación con orden: Permite verificar paso a paso ciertos movimientos o ciclos del proceso, se puede comparar al control semiautomático donde el operario supervisa directamente y valida cada uno de los pasos.
- **F6:** Marcha de test: Es usado para realizar operaciones de mantenimiento preventivo [21].

Grupo A (Procedimientos de puestas en marcha y paradas)

- **A1:** Paradas en el estado inicial. Se refiere precisamente al estado de reposo del sistema, dicho estado es el mostrado generalmente en planos de construcción.
- **A2:** Parada solicitada al final del ciclo. Es un estado transitorio en el cual el sistema debe terminar su ciclo normalmente y posteriormente pasar a estar en su estado inicial.

- **A3:** Parada solicitada en un estado determinado. Es un estado en el cual el sistema se tiene en un estado determinado, el cual no coincide necesariamente con el final del ciclo. Es un estado transitorio de evolución hacia A4.
- **A4:** Parada obtenida. Es un estado de reposo de la máquina distinto al del estado inicial.
- **A5:** Preparación para la puesta en marcha después de un defecto. Es en este estado donde se procede a todas las operaciones, de: vaciado, limpieza, reposición de un determinado producto, etc., necesarias para la puesta de nuevo en funcionamiento de la maquina después de un defecto.
- **A6:** Puesta del sistema en el estado inicial. En este estado se efectúa el retorno del sistema al estado inicial (reinicio). El retorno puede ser manual (coincidiendo con F4) o automático.
- **A7:** Puesta del sistema en un estado determinado. Se retorna el sistema a una posición distinta de la inicial para su puesta en marcha, puede ser también manual o automático [22].

Grupo D (Procedimientos de defectos o fallos)

- **D1:** Parada de emergencia. Es el estado que se consigue después de una parada de emergencia, en donde deben tenerse en cuenta tanto las paradas como los procedimientos y precauciones necesarias para evitar o limitar las consecuencias debidas a defectos.
- **D2:** Diagnóstico y/o tratamiento de fallos. Es en este estado que la máquina puede ser examinada después de un defecto y, con la ayuda del operador o sin ella, indicar los motivos del fallo para su rearme.
- **D3:** Producción a pesar de los defectos. Corresponde a aquellos casos en que se deba continuar produciendo a pesar de los defectos. Se incluye en estas condiciones casos en que, por ejemplo, sea necesario finalizar un reactivo no almacenable, en que pueda sustituir transitoriamente el trabajo de la máquina por la de un operario hasta la reparación de la avería [23].

8.2 USO DE LA NORMA GEMMA

La norma GEMMA como se ha comentado, manifiesta una serie de gráficos que son de gran ayuda o soporte para la persona que se encuentre diseñando el automatismo. Es relevante anotar, que para el uso efectivo de dicha norma se hace indispensable seguir el siguiente procedimiento:

- Estudiar los estados necesarios de la máquina a automatizar, anotando en cada uno de los rectángulos la descripción correspondiente y posibles variantes, si las hay. Aquellos estados que no serán utilizados se marcan con una cruz, indicando así que no se han considerado.
- Estudiar entre que estados será posible la evolución. La guía permite mostrar de forma gráfica todos los caminos deseados, marcando estos con una línea continua.
- Finalmente, de forma parecida a como se indican las transiciones en GRAFCET, se marcan las condiciones necesarias para poder seguir un determinado camino. En algunas ocasiones un determinado camino no tiene una condición específica o determinada, en este caso puede no ponerse indicación o es posible utilizar la condición que la acción anterior sea completa [24].

A continuación, se expresan algunos de los casos más comunes y corrientes identificados ya con antelación.

8.2.1 Marcha de verificación con orden

En este caso, la máquina puede pasar a funcionar en este modo (F5) cuando está parada (A1) o cuando se encuentre en producción normal (F1) si se selecciona el modo etapa a etapa.

Mientras la máquina funcione etapa a etapa será necesario oprimir un pulsador para pasar de una etapa a la siguiente. Seleccionando el modo normal, la máquina pasará al estado de producción normal (F1). Si se selecciona el modo normal cuando la máquina está en la última etapa y se oprime el pulsador de parada, la máquina se parará (A2 seguido de A1) [25].

En la Figura 18 se muestra la representación de la marcha de verificación con orden en la norma GEMMA.

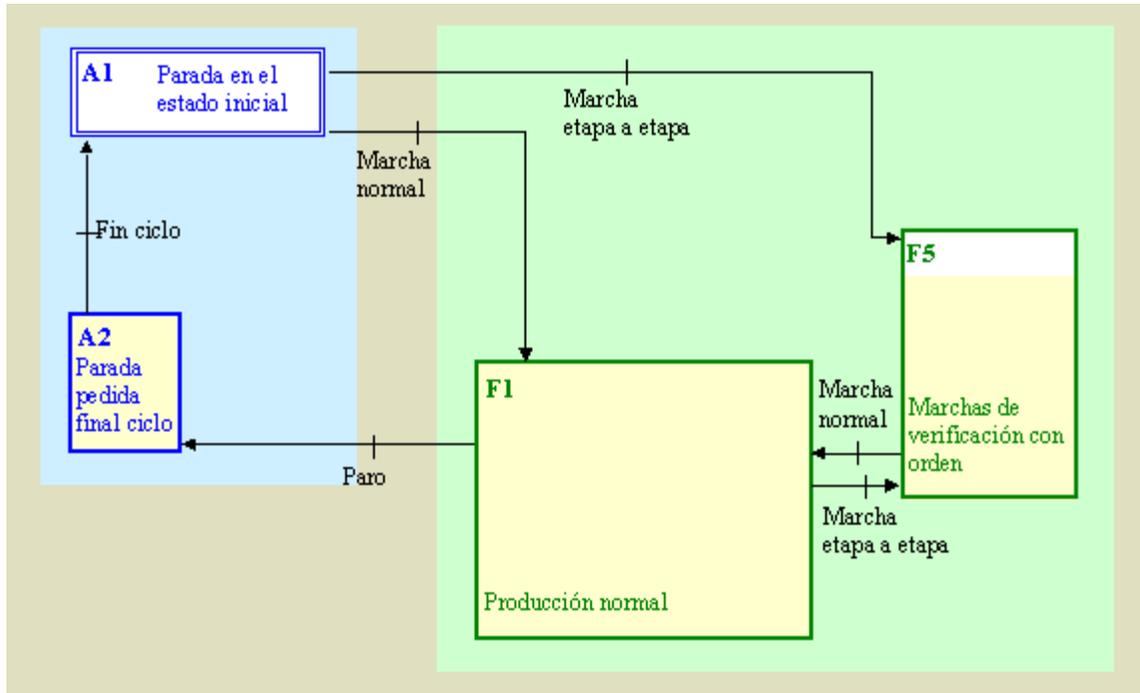


Figura 18. Representación de la marcha de verificación con orden en la norma GEMMA [25].

8.2.2 Paradas de emergencia

El sistema está funcionando normalmente (F1) y se oprime el pulsador de parada de emergencia. Esto, en los sistemas habituales, implica normalmente dejar sin alimentación (físicamente, sin intervención del sistema de control) todo el sistema de producción que por diseño, quedará en posición segura al quedarse sin alimentación.

El mismo pulsador de parada de emergencia informa al control de que pasará al estado de parada de emergencia (D1). Al desenclavar el pulsador de emergencia se pasa a preparar la puesta en marcha (A5).

En este caso hay dos posibilidades de uso habitual según el tipo de sistema que se está controlando. En el primer caso se lleva al sistema hasta el estado inicial (A6), lo que a menudo requiere la intervención del operador y, una vez

alcanzado (A1), el sistema espera una nueva puesta en marcha pulsando el pulsador de marcha que hará recomenzar el proceso de producción (F1).

La segunda posibilidad consiste en llevar el sistema hasta un estado determinado (A7), cosa que a menudo también requiere la intervención del operario y, una vez en el estado A4, el sistema espera la continuación del funcionamiento que se producirá cuando el operario pulse el botón de arranque que hará continuar el proceso (F1) a partir de la etapa en la que se encuentre. [25].

En la Figura 19 se expone la forma de hacer un paro de emergencia según la norma GEMMA.

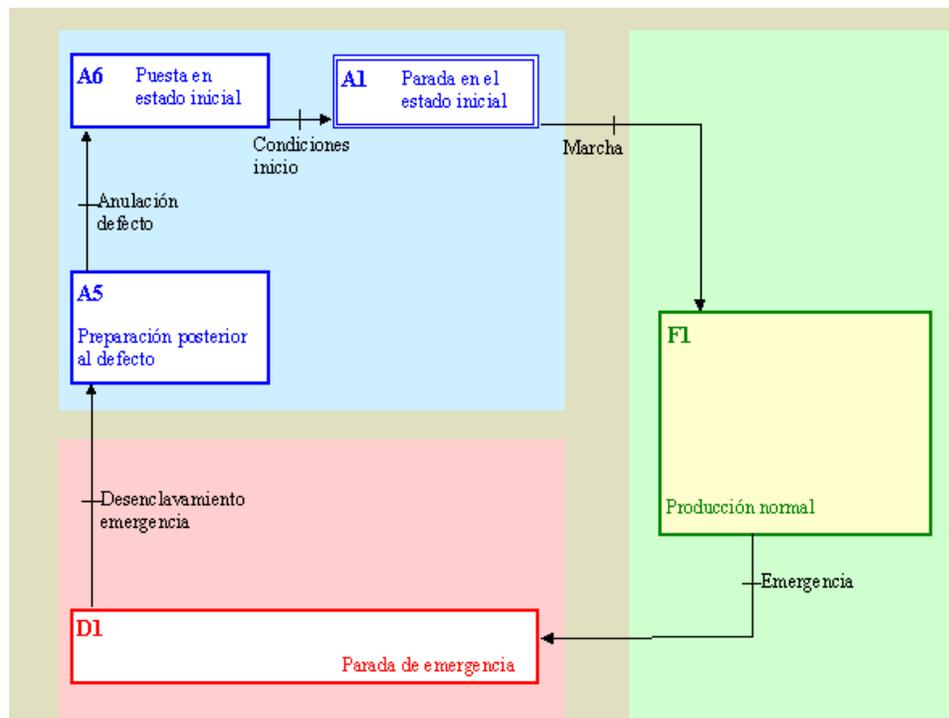


Figura 19. Representación de un paro de emergencia en la norma GEMMA [24].

8.2.3 Parada en un punto

El sistema está funcionando en producción normal (F1) y el operador oprime el pulsador de parada; entonces se pasa a la situación de parada pedida (A3) y, una vez alcanzado el punto deseado, el sistema se para (A4).

Cabe anotar, que el pulsador de arranque debe ser oprimido para que el sistema siga funcionando (F1) a partir del punto de parada. En la Figura 20 puede ser verificada la ilustración de la parada en un punto para la norma GEMMA.

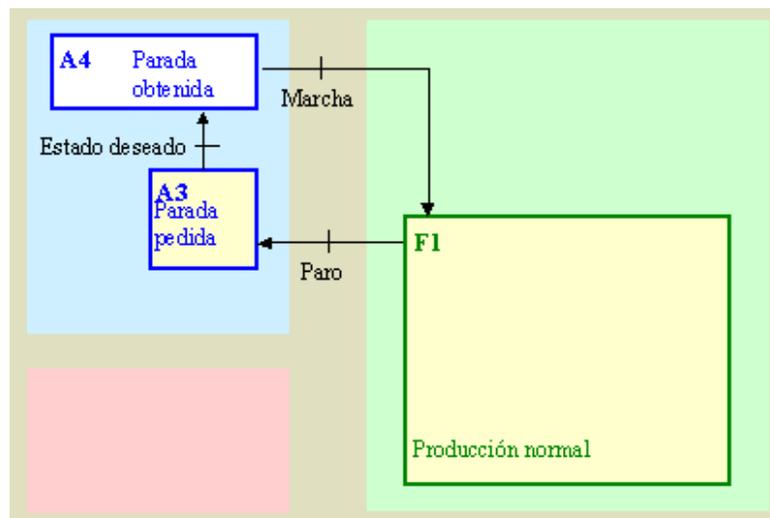


Figura 20. Representación de la parada en un punto en la norma GEMMA [24].

8.3 METODOLOGIA

Para efectuar la implementación de un automatismo, se deben seguir una serie de pasos que han sido con el tiempo estandarizados, dichos pasos son conocidos con la letra E y a continuación serán descritos.

- **E1:** Determinar los aspectos generales del proceso y generar el GRAFCET de producción de primer nivel (descriptivo).
- **E2:** Determinar los elementos del proceso y seleccionar los detectores, indicadores y actuadores necesarios.

- **E3:** Representar el GRAFCET de producción de segundo nivel (tecnológico y operativo).
- **E4:** Estudiar los diferentes estados de GEMMA para determinar que estados son necesarios en el automatismo y realizar su descripción.
- **E5:** Definir sobre GEMMA los caminos de evolución entre los distintos estados.
- **E6:** Diseñar los elementos que componen el pupitre del operador y su ubicación.
- **E7:** Definir sobre GEMMA las condiciones de evolución entre los distintos estados.
- **E8:** Preparar el GRAFCET completo de segundo nivel a partir del de producción representado antes y de la GEMMA.
- **E9:** Escoger la tecnología de control: número de autómatas programables, tipo de entrada y salidas, reguladores industriales, bus de comunicación, etc.
- **E10:** Representar el GRAFCET de tercer nivel concreto (a nivel de autómata).
- **E11:** Instalación, implementación, puesta a punto y pruebas [25].

Es relevante decir, que en la norma GEMMA se tiene estandarizado el lenguaje de GRAFCET para realizar cada uno de los pasos descritos al momento de hacer un automatismo, pero también es valedero y pertinente cualquier otro tipo de lenguaje que se permita, como lo es por ejemplo: LADDER.

9. DESCRIPCIÓN GENERAL DE UNA LÍNEA ENSAMBLADORA DE MOTOS

Típicamente los procesos de ensamble de motocicletas se hacen mediante el sistema de línea de producción; este tipo de línea generalmente es dividida en dos partes: sub conveyor¹ (primer tramo) y conveyor (segundo tramo). A los lados de la línea se encuentran las mesas de sub ensambles que se encargan de pre ensamblar la materia prima que llega para surtir a la línea de producción de los diferentes sub ensambles necesarios en cada uno de los puestos de esta.

Después de lo anterior, al inicio de la línea el chasis es cuñado y codificado mediante procesos de multipunto que marcan dicho elemento para tener un control de las motocicletas ensambladas, seguidamente éste pasa al sub conveyor en donde es instalado de tal forma que quede acostado y sujetado con un soporte conocido con el nombre de Jig², para posteriormente comenzar con los procesos de acoplamiento de sub ensambles.

En esta primera etapa se ensamblan elementos como la llanta trasera, sprocket³, freno trasero, cadena, ramal eléctrico principal, direccionales traseras, stop, entre otros. Ahora bien, al final del sub conveyor la motocicleta es levantada por medio de una diferencial para ser posicionada en el segundo tramo de forma tal que en el inicio de este tramo pueda ser sujeta con el nuevo Jig, y posteriormente el telescópico sea instalado, éste último es un elemento esencial en la moto, puesto que es la parte delantera de la motocicleta que tiene pre ensambladas la llanta delantera y las barras de amortiguación, permitiendo así el sostenimiento de la motocicleta en su posición original.

Agregando a lo definido con antelación, en esta etapa se terminan de ensamblar el resto de sub ensambles como son: la ménsula, direccionales delanteras, motor, carburador, freno delantero, tanque, pito, sillín, farola delantera, entre otros.

Finalmente, están los puestos de aseguramiento de calidad los cuales se encargan de hacer un riguroso chequeo del posicionamiento de los elementos de la motocicleta basados en los estándares de calidad establecidos por la compañía productora.

Para los procesos de producción diaria cada modelo de motocicleta cuenta con un tiempo estándar de ensamblaje el cual determina el tiempo que se demora el ensamble total de la motocicleta desde el momento en que es cuñado el chasis hasta que la motocicleta cae del conveyor. Además de esto se cuenta con un tiempo denominado TACT de línea que es el tiempo que con determinado número de operarios y dependiendo del modelo, es el tiempo que se demora en salir las motocicletas después de estar llena la línea. Con el TACT de línea y la producción diaria se puede entonces determinar cómo es el movimiento de la producción en el

¹ Conveyor: Banda transportadora

² Jig: Dispositivo que sostiene las llantas bien sea delantera o trasera

³ Sprocket: Piñón

día ya que sabiendo el número de motocicletas que se van a ensamblar en el día, la velocidad de los puestos de trabajo y el tiempo que dura el día de trabajo, se puede calcular en cualquier momento como es el comportamiento de la línea de ensamblaje de motocicletas. Es importante resaltar que el tiempo de paros no programados de la línea son parámetros determinantes para la producción pues dependiendo de los paros de línea la producción diaria se verá afectada positiva o negativamente.

10. HAZOP

Hazop es una técnica sistemática y estructurada que viene de sus siglas en inglés (Hazard and Operability Analysis o Análisis de riesgos y operabilidad) que es usada para la examinación de sistemas y el manejo de posibles riesgos para este. De cierto modo, Hazop es particularmente usado como una técnica que permite identificar riesgos potenciales para cierto sistema evitando así que el producto final sea inconforme para los posibles clientes.

Existe a nivel mundial un estándar que se encarga de regular y de describir los principios y los procedimientos que deben ser hechos al implementar un estudio Hazop, ya que al seguir un adecuado procedimiento al final de este se obtendrán las adecuadas y/o apropiadas medidas de prevención y cura.

Dichos principios se encuentran en un contexto donde se realiza un proceso de gestión de riesgos para asegurar la calidad; por tal motivo, Hazop maneja una metodología que debe ser seguida con el fin de cumplir fielmente y de manera óptima con el proceso de análisis de riesgos [26]

Para describir la metodología de Hazop, es necesario definir algunos términos que son de una gran utilidad:

- **Peligro:** Está definido como una fuente potencial de daño. Los peligros son el foco de los estudios Hazop ya que un simple peligro podría causar múltiples formas de daño. Dichos peligros, pueden ser causados por cambios en el diseño del sistema entre otros factores.
- **Daño:** Es un peligro físico que bien podría estar dirigido hacia la salud de las personas, del sistema o del entorno en general. Un daño es la consecuencia de que un peligro está ocurriendo.
- **Riesgo:** Es la combinación de probabilidad de ocurrencia de un daño y de la severidad de este. Dichos riesgos, no están siempre explícitamente identificados en estudios de Hazop puesto que el núcleo o idea central de la metodología no requiere la identificación de dicha probabilidad nombrada con antelación [26].

10.1 METODOLOGIA PARA HAZOP

Para implementar un proceso de análisis para Hazop, se deben seguir 4 fases, las cuales son mostradas y explicadas a continuación:

10.1.1 Fase de definición:

Como elemento primordial en esta primera fase, se define esencialmente los miembros del equipo de evaluación de riesgo para el sistema. Este equipo de evaluación, debe ser un equipo de especialistas de varias disciplinas con las apropiadas habilidades y experiencia que permitan aportar intuición y buen juicio. Se deben asumir responsabilidades ya que este equipo, es el encargado de identificar el alcance de la evaluación hecha con el fin de centrar esfuerzos [27].

10.1.2 Fase de preparación:

La fase de preparación generalmente incluye las siguientes actividades:

- Identificación y locación de los datos y la información de apoyo.
- Identificación de los usuarios hacia los cuales va el resultado del estudio.
- Preparación de la administración del proyecto, como lo puede ser por ejemplo: lugar y hora de reuniones
- Consenso sobre las palabras guías que serán usadas en el estudio de Hazop.

Las palabras guías son un elemento esencial en la ejecución de un análisis de Hazop, así lo dice el estándar IEC 61882:

“La identificación de los cambios del diseño propuesto se consigue mediante un proceso de preguntas utilizando "palabras guía" que ya han sido predeterminadas. El papel de la palabra guía es estimular el pensamiento imaginativo, y así enfocar el estudio en obtener ideas y generar discusión [26]”.

En la Tabla 3 se exponen algunas palabras guías básicas junto con su significado dado en alguna acción del proceso.

Palabra Guía	Significado
No	Completa negación
Más	Incremento cuantitativo
Menos	Decremento cuantitativo
Así como	Incremento/modificación cualitativa
Parte de	Decremento/modificación cualitativa
Revés	Lógico opuesto
Otro	Sustitución completa
Temprano	Relativo al tiempo en el reloj
Tarde	Relativo al tiempo en el reloj
Antes	Relativo a un orden o secuencia
Después	Relativo a un orden o secuencia

Tabla 3. Algunas palabras guía básicas con sus significados genéricos

10.1.3 Fase de examinación:

Esta fase empieza con la identificación de todos los elementos del sistema o del proceso que va a ser examinado. Por ejemplo:

- Sistemas físicos pueden ser analizados en partes más pequeñas si es necesario.
- Los procesos pueden ser divididos en distintas fases, o como parte contraria, distintas partes pueden ser unidas como un grupo para facilitar su evaluación.

Al momento de llegar a la fase de examinación, es donde son aplicadas realmente las palabras guía, ya que allí se realiza una especie de diagrama de flujo que va indicando paso a paso y de una manera muy sistemática, todas las posibles desviaciones que pueden existir en el proceso y qué hacer con cada una de ellas. En la Figura 21 puede ser verificado un ejemplo una fase de examinación basado en un diagrama de flujo [28].

10.1.4 Fase de documentación y seguimiento:

Esta es la última fase del proceso, donde se dan a conocer todos los resultados del análisis Hazop. Dichos resultados, deben ser entregados de manera detallada por medio de una plantilla que exige el estandar IEC 61882. Cabe anotar, que dichos resultados no pueden ser modificados a menos que se cumplan algunas de las siguientes condiciones:

- El equipo escogido cree necesario que la caracterización de los riesgos analizados sea un poco mas explicita.

- Las políticas de la compañía para la cual se le está realizando el estudio, exiga la presentación de documentos de una manera diferente a la implementada.

Como último elemento pero no de menor importancia, se recomienda que para cerrar completamente el análisis Hazop, este debe ser verificado e implementado en el sistema, para asegurar así, que las acciones que surgieron como resultado del estudio se desarrollen de una manera satisfactoria [27].

Para agregar, en la Figura 21 se puede verificar un diagrama de flujo para la fase de examinación en la metodología Hazop

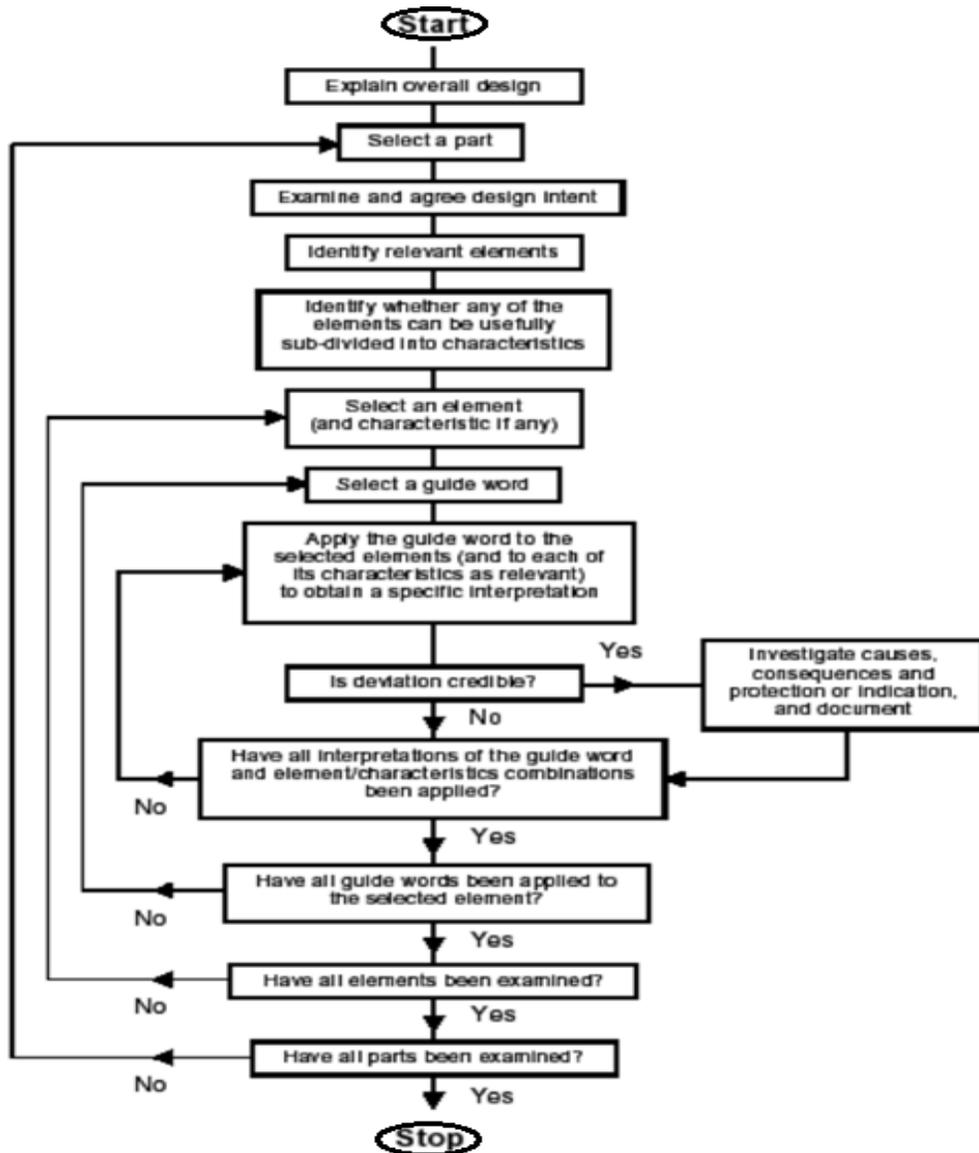


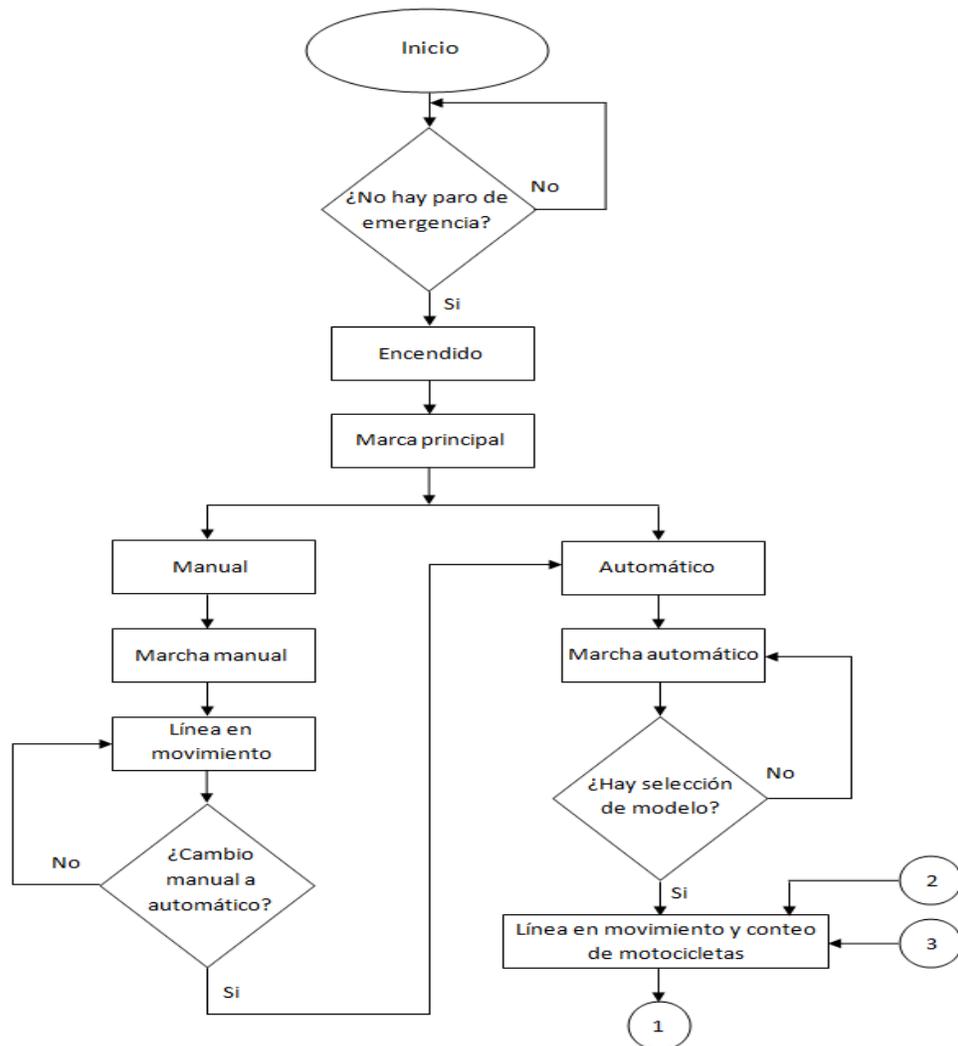
Figura 21 Diagrama de flujo para una fase de examinación en la metodología de Hazop

RESULTADOS Y DISCUSIONES

11. DIAGRAMA DE FLUJO GENERAL Y PSEUDOCÓDIGOS PRINCIPALES

Al momento de implementar un algoritmo para desempeñar alguna función o proyecto en especial, se hace sumamente importante realizar un diagrama de flujo que permita reconocer a grandes rasgos que es lo que se quiere alcanzar con dicha función y cuáles son los pasos para lograrlo; es decir, se busca que el diagrama de flujo describa o represente de la mejor manera posible todos los subsistemas que permiten que el objetivo final planteado se cumpla.

Es por lo anterior, que en la Figura 22 se representa mediante un diagrama de flujo todos los subsistemas que intervienen para la exitosa realización del presente proyecto el cual se basa en el registro de variables de proceso de una línea ensambladora empleando un PLC y una interfaz HMI.



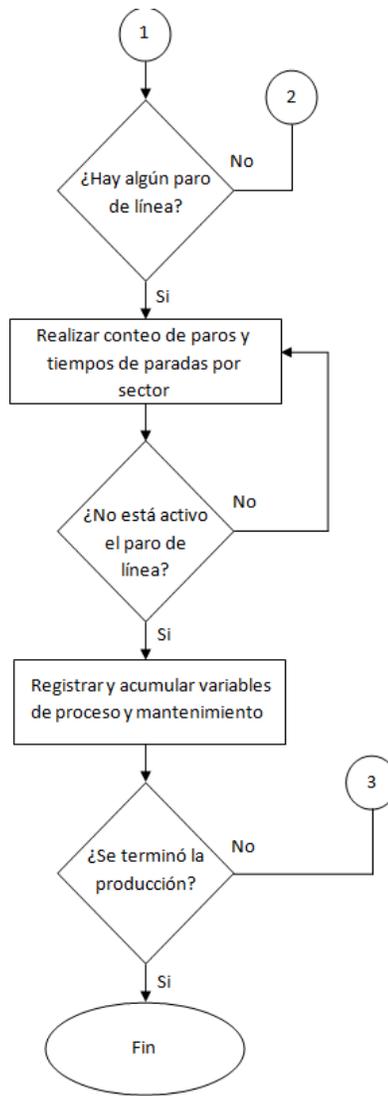


Figura 22 Diagrama de flujo básico para el registro de variables de una planta ensambladora de motocicletas.

Al observar la Figura 22, se puede notar que el éxito del presente proyecto se basa en una serie de distintos subsistemas que tienen como papel fundamental generar distintas salidas que en su conjunto darán solución al problema inicial planteado, el cual es en esencia el registro de variables de un sistema de ensamble de moto.

Algunas de estas salidas, provienen de subsistemas pertenecientes netamente a secuencias de arranque; mientras tanto, hay otros como lo son el subsistema de conteo y tiempo de paradas que están ligado a elementos más aritméticos y/o

matemáticos, generando de esta manera que el sistema total en sí, posea un análisis más ordenado y estructurado.

A continuación, se generan algunos pseudocódigos que describen informalmente lo que se produce en los subsistemas del proyecto para lograr su objetivo final; es importante aclarar que para forjar un lenguaje más natural, dichos pseudocódigos son una representación lo más acertada posible a todas las bobinas y las secuencias de programación realizadas en el PLC [28].

Subproceso selección del modo del sistema

```
Si Encendido == 1
  Entonces Activar marca principal
  Sino Esperar encendido
Fin

Si Marca principal==1 && Selección manual ==1
  Entonces Activar modo manual
  Sino Si Marca principal==1 && Selección automático ==1
    Entonces Activar modo automático
    Sino Esperar por selección manual o automático
  Fin
Fin
Fin
```

Subprocesos Arranque del sistema

```
Si Marca principal == 1 && Stop == 0
  Entonces Activar Auxiliar 1
  Sino Esperar (Marca principal == 1 && Stop == 0)
Fin

Si Auxiliar == 1 && Modo manual == 1
  Entonces Activar marcha manual
  Sino Si Auxiliar == 1 && Modo automático == 1
    Entonces Activar marcha automático
    Sino Esperar (Modo automático == 1 || Modo manual == 1)
  Fin
Fin
```

Subproceso paros de línea sectorizados

```
Si Marcha del sistema == 1 && Paro de línea 1 == 1
  Entonces Activar paro sector 1 y activar rutina de conteo
  Sino Si Marcha del sistema == 1 && Paro de línea 2 == 1
    Entonces Activar paro sector 2 y activar rutina de conteo
    Sino Si Marcha del sistema == 1 && Paro de línea 3 == 1
      Entonces Activar paro sector 3 y activar rutina de conteo
      Sino Si Marcha del sistema == 1 && Paro de línea 4 == 1
        Entonces Activar paro sector 4 y activar rutina de conteo
        Sino Seguir Marcha del sistema
      Fin
    Fin
  Fin
Fin
```

Subproceso tiempos de paros de línea

```
Si Paro de línea 1 == 1
  Entonces Activar temporizador y guardar dato en un determinado registro su
  tiempo de parada
  Número de paradas1 = Número de paradas1 + 1;
  Sino Si Paro de línea 2 == 1
    Entonces Activar temporizador y guardar dato en un determinado registro su
    tiempo de parada
    Número de paradas2 = Número de paradas2 + 1;
  Sino Si Paro de línea 3 == 1
    Entonces Activar temporizador y guardar dato en un determinado
    registro su tiempo de parada
    Número de paradas3 = Número de paradas3 + 1;
  Sino Si Paro de línea 4 == 1
    Entonces Activar temporizador y guardar dato en un determinado
    registro su tiempo de parada
    Número de paradas4 = Número de paradas4 + 1;
  Sino
  Seguir Marcha del sistema
  Fin
  Fin
  Fin
  Fin
Fin
```

Subproceso selección de modelo a ensamblar

```
Si Modelo1 ==1
  Entonces Activar el modelo con su respectivo TACT de línea
  Sino Si Modelo2 == 1
    Entonces Activar el modelo con su respectivo TACT de línea
    Sino Si Modelo3 == 1
      Entonces Activar el modelo con su respectivo TACT de línea
      Sino Esperar selección de modelo para dar arranque
      Fin
    Fin
  Fin
Fin
```

Si se cumplen a cabalidad los procesos descritos con antelación, el sistema será capaz de realizar una integración de los diferentes módulos del sistema logrando que se produzca un adecuado acondicionamiento de las señales y un apropiado almacenamiento de cada uno de los registros necesarios para el óptimo desarrollo de sí mismo.

12. PANTALLA HMI

Al momento de hablar de registros, se hace muy importante para la presentación final del proyecto realizar una buena visualización de ellos; es por tal motivo, que se usó una pantalla HMI, la cual necesita para su uso una diferencia de potencial de 5V y la comunicación con el PLC se hace mediante un cable RJ12 y protocolo RS232.

Considerando que dicho elemento es el que permite la interacción entre el sistema en sí y el usuario final, convirtiéndolo en dispositivo esencial en el proyecto, enseguida se mostrarán cada uno de los pantallazos que se generan a medida que se avanza en el proceso de la línea de ensamble.



Figura 23 Pantalla Inicio HMI.

Pantalla Inicio: Como se muestra en la Figura 23 ,es la imagen inicial del programa de la HMI, donde se muestra como primer elemento el nombre completo del proyecto que se está realizando, además de un botón de inicio que conlleva al menú principal de arranque.



Figura 24 Configuración de la producción

Pantalla Configuración de la producción: Como se expone en la Figura 24, es la pantalla donde se puede elegir alguno de los 3 modelos de motos que se deseen ensamblar, cada una de ellas por supuesto, representa una velocidad diferente a la línea de ensamblar; además de lo anterior, posee un casilla donde se puede ubicar la cantidad de motocicletas que se proyecta ensamblar en un determinado tiempo, generalmente: un día de trabajo.



Figura 25 Pantalla de encendido del sistema

Pantalla de encendido del sistema: Esta última, permite básicamente darle inicio al sistema en general por medio de los botones de automático y manual, y a su vez posee la manera de darle stop al sistema sin importar el modo de arranque que se haya escogido.

Además de lo anterior, posee dos botones que permiten regresar a la pantalla de configuración de la producción o admite viajar hacia otro entorno donde se muestran factores tales como la cantidad de motos ensambladas actuales.

Esta pantalla se puede verificar en la Figura 25.



Figura 26 Pantalla de producción del día

Pantalla de producción del día: En la pantalla expuesta en la Figura 26, se pueden observar la cantidad de motos que se esperan ensamblar al final del día, por contraparte, se puede mirar el número de motos ensambladas hasta un momento determinado, además de tener contemplada la diferencia entre estos dos parámetros anteriores.

Para un análisis más detallado del sistema y observar cómo está funcionando, se tiene el botón de registros donde se pueden verificar los datos



Figura 27 Pantalla de registro de paradas

Pantalla de registro de paradas: Esta es una pantalla muy especial, ya que permite conocer con exactitud dos de los parámetros más importantes en este proyecto, los cuales son: tiempo de paradas y conteo de paradas; donde cada una de ellas está sectorizado en la línea de ensamble.

De esta manera, se puede conocer qué sector está fallando de una manera más repetitiva además de saber con exactitud cuánto tiempo ha parado.

Cabe anotar que esta pantalla es igual para cada uno de los cuatro sectores de la línea y se puede verificar en la Figura 27.



Figura 28 Pantalla de las variables de proceso más importantes I

Pantalla de las variables de proceso más importantes I: En esta sección del programa de la HMI la cual es mostrada en la Figura 28, se pueden verificar las principales variables de proceso para la línea ensambladora, como lo son: Tasa de ocurrencia de fallas (TOF), Tiempo medio entre fallas con sus siglas en inglés (MTBF).

Dichas variables permiten a la persona que esté realizando el análisis del sistema, conocer que tan eficientemente está trabajando esta.



Figura 29 Pantalla de las variables de proceso más importantes II

Pantalla de las variables de proceso más importantes II: Al ingresar a esta pantalla, es posible observar la disponibilidad total de la línea ensambladora la cual indica en que porcentaje el sistema ha estado listo para operar, además se puede identificar el tiempo promedio de falla (MDT) indicando en una medida promedio cada cuanto habrá una falla en el sistema.

Esta pantalla se muestra en la Figura 29 para una mejor ilustración.

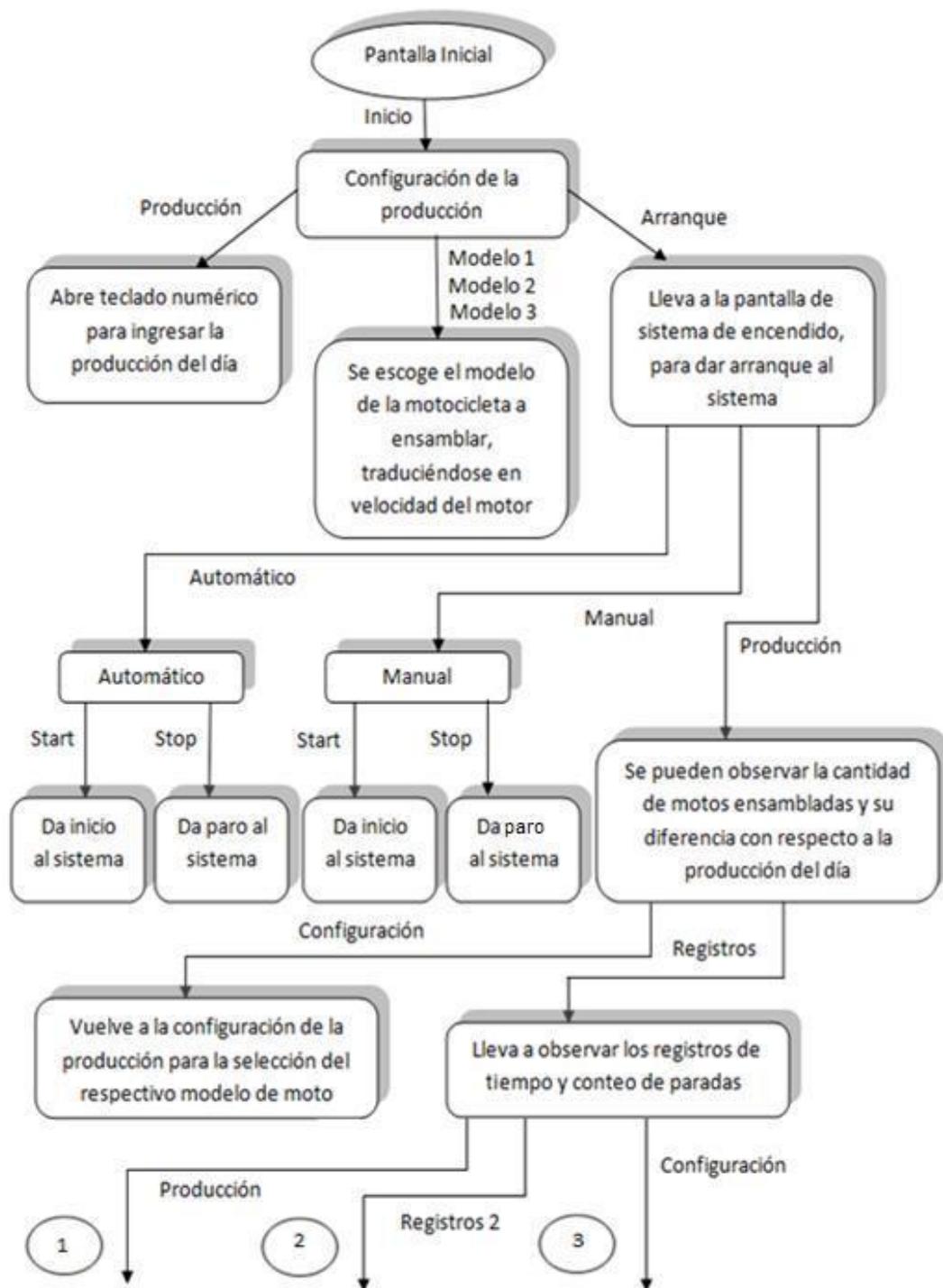


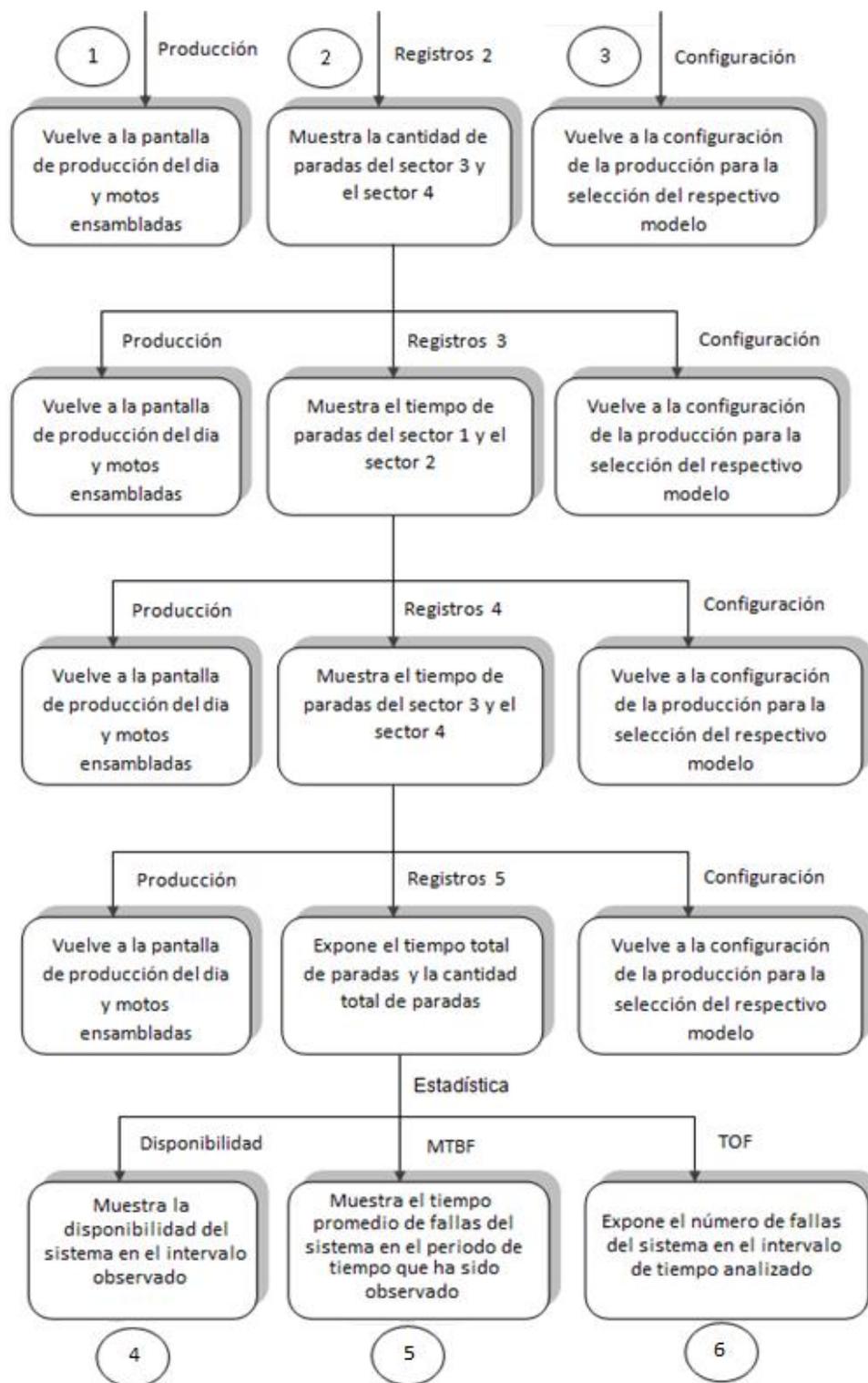
Figura 30 Pantalla de las variables de proceso más importantes III

Pantalla de las variables de proceso más importantes III: Como última referencia estadística, en la Figura 30 se tiene la pantalla que muestra dos parámetros muy importantes en el área de mantenimiento de un sistema, los cuales son Lambda (λ) y Miu (μ) quienes representan el porcentajes de falla y la cantidad de fallas por hora que podrían ocurrir en el sistema respectivamente.

Ahora bien, se hace pertinente describir cada una de estos pantallazos de la HMI mediante un diagrama de bloques de proceso, que describa de una buena manera el curso que va siguiendo el programa a medida que se va ejecutando el programa en la HMI, dicho diagrama se expone en la Figura 31.

Cabe resaltar, que cada uno de estos pantallazos trata de suplir cada una de las necesidades que el usuario requiere, tales como: tiempos de parada, conteo de paradas, cantidad de motocicletas ensambladas, entre otras.





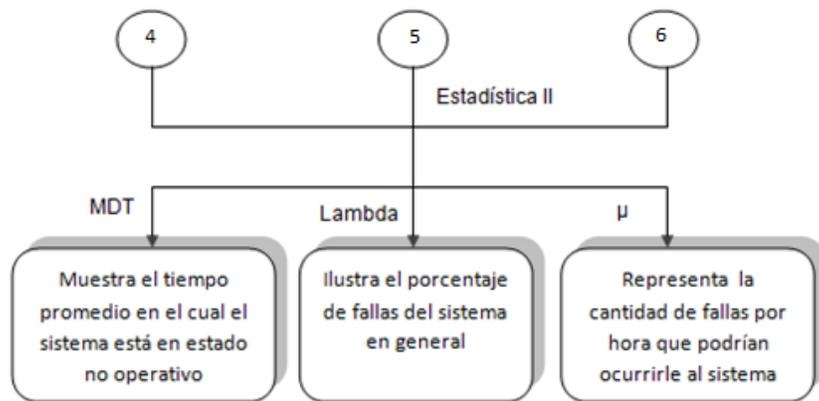


Figura 31 Diagrama de bloques de proceso pantalla HMI.

13. ASPECTOS DEL ALGORITMO SOBRE LA NORMA GEMMA

Al tener como base la norma GEMMA en el proyecto, se busca darle a este la forma de un sistema básico estructurado que tenga en cuenta los modos de seguridad, de producción y de marcha para que actúe bajo todas las normas técnicas de un sistema automatizado.

Es por lo anterior, que en el paso de dar registro a las variables de proceso en la línea ensambladora de motocicletas se pretende dar una intensidad prioritaria al sistema de seguridad tal y como la norma GEMMA lo exige, ya que este es un módulo prioritario al ejecutar acciones como el de un paro de emergencias, un fallo de algún dispositivo, entre otras que puede ser sumamente perjudiciales para todo el sistema en general.

Por tal motivo, se le dio una urgencia especial al paro de emergencia diseñado en la línea de ensamble, dándole una categoría de "Súper prioridad" con respecto a las demás entradas del PLC, ya que al oprimir dicho paro, el sistema sufre una detención total para que pueda ser revisado.

Ahora bien, para efectuar la implementación del automatismo a la línea de ensamble fue necesario tener en cuenta muchos aspectos pertenecientes al algoritmo diseñado en el PLC, como lo son por ejemplo: la cantidad de sensores y actuadores necesarios para el fiel u óptimo funcionamiento del sistema, además de la determinación de los caminos de evolución entre los diferentes estados de la línea ensambladora.

Agregando a lo anterior, fue fundamental la selección de la pantalla HMI y el PLC para lograr una excelente comunicación entre ellos, ya que en algunos casos ambos dispositivos presentan irregularidades o incongruencias en la comunicación de datos, es importante decir, los demás dispositivos (sensores, actuadores) y los diagramas de conexiones pertinentes son expuestos posteriormente.

En la Figura 32, se describe el diagrama GEMMA para el proceso de la línea ensambladora en particular, donde el proceso de inicialización del sistema se da en su estado original (óptimo funcionamiento), yendo posteriormente hacia una etapa de reposo donde se encuentra preparado a iniciar mediante la marca manual o automática; es importante anotar que este mismo estado de reposo es aquella fase en donde el sistema se encuentra si existe algún tipo de falla o defecto en la producción.

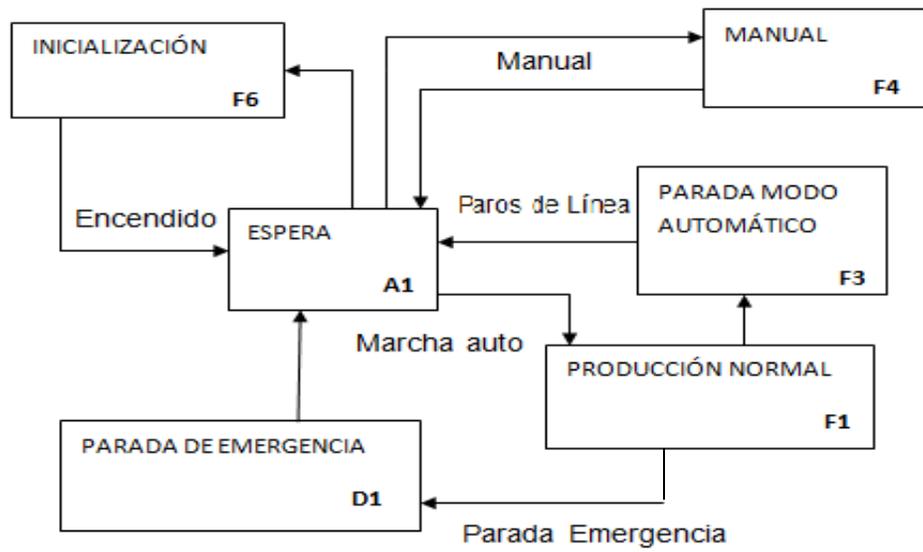


Figura 32 Diagrama de proceso norma GEMMA para la línea ensambladora.

14. ASPECTOS HAZOP PARA LA LINEA DE ENSAMBLE

HAZOP juega un papel muy importante en el análisis operacional de un sistema cualquiera, ya que permite técnicamente identificar los riesgos o accidentes que se producen por medio de una desviación de las variables de proceso previamente establecidas con respecto a los parámetros normales de operación de algún determinado proceso.

La importancia de manejar este método es el hecho de que al ser una técnica sistemática que puede crear hábitos metodológicos útiles, permite que la persona que lo observe y lo analice, tenga un mayor conocimiento del proceso que se está ejecutando, como un plus adicional, el sistema HAZOP no requiere de recursos adicionales, sólo de tiempo de dedicación para intentar plasmar en el método el punto de vista del proceso.

Es por lo anterior, que el sistema que registra las variables del proceso de la línea ensambladora fue analizado con detenimiento, para poder de esta manera identificar posibles desviaciones al procedimiento normal de este, además de lo anterior, se busca identificar sus probables causas, sus factibles consecuencias y por supuesto, sus medidas correctivas, para garantizar que se eviten las causas de las desviaciones, esta explicación se puede verificar en la Tabla 4.

ANÁLISIS DE OPERABILIDAD EN LINEA ENSAMBLADORA				
GUIA	DESVIACIÓN	CAUSA POSIBLE	CONSECUENCIAS	MEDIDAS A TOMAR
NO	No tensión	Desconexión de la fuente de alimentación	Paro total de la línea	Asegurar la tensión nominal en la entrada del motor
MÁS	Más Paros	Falta de materiales para ensamblamiento	Retraso de la producción del día	Revisar los materiales en cada sector de la línea
NO	No funcionan los paros de línea	Desconexión en el PLC	Producto defectuoso	Chequear las conexiones de las salidas del PLC
PARTE DE	Realiza conteo de paradas pero no contabiliza el tiempo	Problema con los registros del PLC o la HMI	Análisis defectuoso de la producción	Inspeccionar la programación del PLC y la HMI
OTRO	Intervenciones de mantenimiento	Fallo de equipo o errores humanos	Producto defectuoso	Hacer chequeos al sistema en estados no operativos
MAYOR QUE	Presencia de materiales defectuosos para el ensamble	Problema con las materias primas	Mayor paros de línea, menos producción	Generar buenas compras de materias primas
MÁS	Más Diferencia de potencial en el motor	Falla de algún circuito o del motor en si	Imposibilitar el ensamble de la motocicleta	Medir constantemente la tensión en el motor

Tabla 4 Análisis Hazop para la línea ensambladora.

15. PLC Y DIAGRAMA DE CONEXIÓN ELÉCTRICA

El PLC escogido para este proyecto referente a la línea ensambladora, fue el PLC CLICK C0-00DR-D, el cual cuenta con los requerimientos mínimos para desempeñar de la mejor manera la labor deseada. Este PLC cuenta con 6 entradas DC y 5 salidas de relé, además de requerir una fuente de alimentación de 24VDC. Posee una memoria de programa de 8Kbyte, y su programación es creada en un software denominado "CLICK Programming software" el cual maneja el lenguaje de Ladder. Tiene incorporado un puerto de programación RS232 C y por supuesto un puerto de comunicación el cual permite por medio de un conector RJ 12 comunicarse con la pantalla HMI seleccionada [29].

Ahora bien, se hace relevante exponer cual fue el diagrama de conexión escogido para implementar el ensamble y la comunicación entre cada una de las partes perteneciente al proyecto (Fuente regulada, PLC e interfaz HMI); por tal motivo, en la Figura 33 se muestra el esquema de conexión del proyecto tratado en este documento.

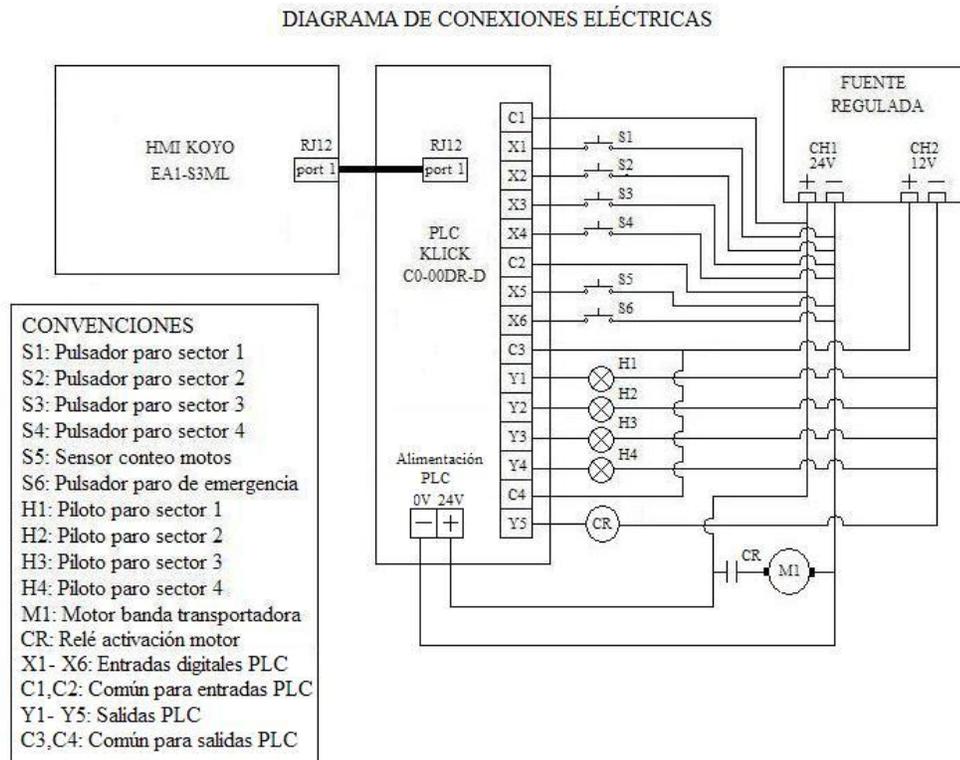


Figura 33 Diagrama de conexión eléctrica para la línea ensambladora

De igual forma, dar una clara notificación de las entradas y salidas del PLC es sumamente importante, ya que permite a cualquier persona interesada en el proyecto darse a una idea más clara de cómo se está trabajando, que conexiones se están haciendo, y cómo encontrar una posible falla en una entrada a salida al conocer su respectiva dirección.

Por lo anterior, en la Tabla 5 se puede verificar la descripción de entradas y salidas del PLC CLICK C0-00DR-D usado en el diseño de este proyecto.

DESCRIPCIÓN SALIDAS Y ENTRADAS DEL PLC	
ENTRADAS	
DIRECCIÓN	COMENTARIO
X1	Pulsador paro sector 1
X2	Pulsador paro sector 2
X3	Pulsador paro sector 3
X4	Pulsador paro sector 4
X5	Sensor conteo motos
X6	Pulsado paro de emergencia
SALIDAS	
DIRECCIÓN	COMENTARIO
Y1	Piloto paro sector 1
Y2	Piloto paro sector 2
Y3	Piloto paro sector 3
Y4	Piloto paro sector 4
Y5	Motor run

Tabla 5 Descripción Entradas/Salidas del PLC para controlar la línea de ensamble.

16. MAQUETA LINEA DE ENSAMBLE Y PRUEBAS

La línea de ensamble motos es el elemento que idealmente se intenta representar mediante la maqueta realizada en este proyecto; ya que esta es el dispositivo que en sí se intenta controlar, manejar y/o manipular con el fin de obtener la mayor cantidad de información posible de ella y de esta manera, poder analizar y estudiar estos datos brindándole a la persona encargada una mejor organización de cada sector de la línea.

Para la realización de la maqueta se necesitaron los siguientes materiales:

- Un motor DC de 24V
- 5 metros de ángulo de aluminio de media pulgada (1/2 pulgada)
- 30 remaches de un octavo de pulgada (1/8 de pulgada)
- 3 rodillos con eje de una pulgada (1 pulgada)
- 2 brocas de un octavo de pulgada (1/8 pulgada)
- 6 Pulsadores
- 6 Bombillos de alimentación 12VDC
- Una fuente de alimentación
- Silicona
- 1 hilo

Referente a la selección de sensores y actuadores, se puede notar mediante la lista anterior que no hubo la necesidad de implementar en el diseño final una gran cantidad de sensores que permitieran efectuar alguna determinada acción a la línea de ensamble; ya que por medio del uso de un pulsador individual se permite registrar en qué momento se está ensamblando una motocicleta.

Por otra parte, en el diseño final de la línea de ensamble sólo se creó la necesidad de usar un motor que funciona con una tensión de alimentación de 24V, este dispositivo es el que permite que la línea de ensamble cambie su velocidad dependiendo del modelo de motocicleta que se esté ensamblando, sea una muy sencilla o una que requiera una velocidad más lenta para su óptimo ensamblaje.

En la Figura 34 se muestra desde una perspectiva lateral, una imagen de la maqueta final que representa la línea de ensamble de motos a la cual se le realizó el proceso de adquisición de datos para poder efectuar el registro de variables.



Figura 34. Maqueta de la línea ensambladora de motocicletas.

Las pruebas efectuadas a la maqueta de ensamble, se realizaron siempre bajo unas mismas referencias de tensión nominal para la fuente de alimentación del motor DC, además se tuvo en cuenta la selección de los diferentes modelos de motocicleta a ensamblar indicando de esta manera que el oscilador que hace girar a dicho motor varía.

Cabe anotar, que la línea ensambladora de motocicletas está dividida en cuatro sectores con sus respectivos paros de línea los cuales en teoría serían cuatro operarios encargados de ensamblar las partes de la motocicleta. Para efectos prácticos en este proyecto se usó un periodo de producción de 5 horas. Se programó un tiempo estándar para el modelo de motocicleta 1 el cual fue de 60 segundos, 88 segundos para el modelo 2 y 120 segundos para el modelo 3. Es muy importante aclarar, que el tiempo estándar que se contabiliza desde que la motocicleta empieza la línea para ser ensamblada hasta que posteriormente sale totalmente armada.

Teniendo los tiempos estándar de cada modelo, se puede hallar el TACT de línea el cual representa el tiempo que demora una motocicleta en llegar al final de línea dependiendo del número de operarios, este se obtiene dividiendo el tiempo estándar del modelo a ensamblar entre el número de operarios que van a ensamblarla; con el TACT ya calculado, se puede encontrar la cantidad de unidades que se pueden ensamblar en el periodo de producción programado para el día. La ecuación para hallar el TACT se muestra en la ecuación 16

$$TACT = \frac{\text{Tiempo estándar de la motocicleta}}{\text{Número de operarios}}$$

Ecuación 16

Ahora bien, teniendo en cuenta que el tiempo de producción asumido para el presente proyecto es de 5 horas, en la Tabla 6 se puede entonces verificar el tiempo estándar para cada modelo a ensamblar, su respectivo TACT de línea asumiendo que existen 4 operarios, además de la cantidad de motos que se ensamblarían en el periodo de producción.

MODELO	TIEMPO ESTÁNDAR (s)	TACT DE LINEA (s)	CANTIDAD UNIDADES EN EL DÍA
1	60	15	1200
2	80	20	900
3	120	30	600

Tabla 6 Referencias ideales para la línea ensambladora diseñada.

Desde la Tabla 7 hasta la Tabla 16, se representan distintas cantidades de magnitudes de paros de línea y de tiempos de parada para el sistema en general, calculando a su vez las variables de proceso relevantes descritas con antelación en el presente documento como lo son:

- Cantidad de paros por sector
- Tiempo de paros por sector
- Cantidad total de paros
- Tiempo total de paros
- Tasa de ocurrencia de fallos (TOF)
- Tiempo medio entre fallos (MTBF)
- Tiempo medio de reparaciones (MDT)
- Disponibilidad
- λ , tasa de fallos equivalente a $1/\text{MTBF}$
- μ , tasa de reparaciones equivalente a $1/\text{MTD}$

Los valores expuestos en estas tablas fueron tomadas de la pantalla HMI usada para la visualización de los datos.

PRUEBA 1		
	Tiempo paros (s)	Cantidad paros
Paro 1	23	2
Paro 2	17	3
Paro 3	10	1
Paro 4	21	2
Total	71	8
TOF (Paros/h)	1,600	
MTBF (h/fallo)	0,620	
Disponibilidad (%)	99,610	
MDT (h/fallo)	0,002	
Lambda (fallo/h)	1,610	
U (fallo/h)	405,630	

Tabla 7 Prueba número 1 para la línea de ensamble diseñada.

PRUEBA 2		
	Tiempo paros (s)	Cantidad paros
Paro 1	41	4
Paro 2	24	3
Paro 3	35	2
Paro 4	7	1
Total	107	10
TOF (Paros/h)	2.000	
MTBF (h/fallo)	0,500	
Disponibilidad (%)	99,410	
MDT (h/fallo)	0,003	
Lambda (fallo/h)	2,010	
U (fallo/h)	336,450	

Tabla 8 Prueba número 2 para la línea de ensamble diseñada.

PRUEBA 3		
	Tiempo paros (s)	Cantidad paros
Paro 1	30	2
Paro 2	15	3
Paro 3	12	1
Paro 4	45	4
Total	102	10
TOF (Paros/h)	2.000	
MTBF (h/fallo)	0,500	
Disponibilidad (%)	99,430	
MDT (h/fallo)	0,003	
Lambda (fallo/h)	2,010	
U (fallo/h)	352,940	

Tabla 9 Prueba número 3 para la línea de ensamble diseñada.

PRUEBA 4		
	Tiempo paros (s)	Cantidad paros
Paro 1	13	1
Paro 2	20	1
Paro 3	32	1
Paro 4	47	1
Total	112	4
TOF (Paros/h)	0,800	
MTBF (h/fallo)	1,240	
Disponibilidad (%)	99,380	
MDT (h/fallo)	0,008	
Lambda (fallo/h)	0,810	
U (fallo/h)	128,570	

Tabla 10 Prueba número 4 para la línea de ensamble diseñada.

PRUEBA 5		
	Tiempo paros (s)	Cantidad paros
Paro 1	17	2
Paro 2	38	3
Paro 3	45	2
Paro 4	56	3
Total	156	10
TOF (Paros/h)	2.000	
MTBF (h/fallo)	0,500	
Disponibilidad (%)	99,130	
MDT (h/fallo)	0,004	
Lambda (fallo/h)	2,020	
U (fallo/h)	230,770	

Tabla 11 Prueba número 5 para la línea de ensamble diseñada.

PRUEBA 6		
	Tiempo paros (s)	Cantidad paros
Paro 1	68	5
Paro 2	54	3
Paro 3	37	4
Paro 4	15	1
Total	174	13
TOF (Paros/h)	2,600	
MTBF (h/fallo)	0,380	
Disponibilidad (%)	99,030	
MDT (h/fallo)	0,004	
Lambda (fallo/h)	2,630	
U (fallo/h)	268,970	

Tabla 12 Prueba número 6 para la línea de ensamble diseñada.

PRUEBA 7		
	Tiempo paros (s)	Cantidad paros
Paro 1	125	3
Paro 2	50	1
Paro 3	176	4
Paro 4	285	5
Total	636	13
TOF (Paros/h)	2,600	
MTBF (h/fallo)	0,370	
Disponibilidad (%)	96,470	
MDT (h/fallo)	0,014	
Lambda (fallo/h)	2,700	
U (fallo/h)	73,580	

Tabla 13 Prueba número 7 para la línea de ensamble diseñada.

PRUEBA 8		
	Tiempo paros (s)	Cantidad paros
Paro 1	25	2
Paro 2	32	3
Paro 3	13	2
Paro 4	45	3
Total	115	10
TOF (Paros/h)	2.000	
MTBF (h/fallo)	0,500	
Disponibilidad (%)	99,360	
MDT (h/fallo)	0,003	
Lambda (fallo/h)	2,010	
U (fallo/h)	313,040	

Tabla 14 Prueba número 8 para la línea de ensamble diseñada.

PRUEBA 9		
	Tiempo paros (s)	Cantidad paros
Paro 1	89	4
Paro 2	78	1
Paro 3	102	5
Paro 4	97	3
Total	366	13
TOF (Paros/h)	2,600	
MTBF (h/fallo)	0,380	
Disponibilidad (%)	97,970	
MDT (h/fallo)	0,008	
LAMBDA (fallo/h)	2,650	
U (fallo/h)	127,870	

Tabla 15 Prueba número 9 para la línea de ensamble diseñada.

PRUEBA 10		
	Tiempo paros (s)	Cantidad paros
Paro 1	85	4
Paro 2	93	4
Paro 3	78	4
Paro 4	67	4
Total	323	16
TOF (Paros/h)	3,200	
MTBF (h/fallo)	0,310	
Disponibilidad (%)	98,210	
MDT (h/fallo)	0,006	
LAMBDA (fallo/h)	3,260	
U (fallo/h)	178,330	

Tabla 16 Prueba número 10 para la línea de ensamble diseñada.

17. CONCLUSIONES

- Al desarrollar y simular el proceso de una línea ensambladora de motocicletas se puede concluir que en dicho proceso se pueden adquirir múltiples variables que brindan información muy importante y permiten agilizar los procesos de gestión administrativa para corregir con más velocidad problemas de producción. También se pueden obtener variables relevantes para el área de mantenimiento, aplicar normas y estándares internacionales que optimizan los planes de mantenimiento de una empresa, permitir programar de una manera más eficaz los diferentes tipos de mantenimiento además de optimizar y disminuir tiempos de reparaciones.
- Después de analizar y planificar las variables de proceso a estudiar se determina que las variables más importantes para adquirir de una línea ensambladora de motocicletas son los tiempos de paro por sector, la cantidad de paros por sector, cantidad de paros totales, tiempo total de paros, tasa de ocurrencia de fallos, tiempo medio entre fallos, tiempo medio de reparaciones, disponibilidad. Con estas variables se puede dar un análisis completo del comportamiento de la producción y la disponibilidad para funcionar desde el punto de vista de mantenimiento para una línea de ensamble de motocicletas.
- Al diseñar la programación para adquirir las variables de proceso nos damos cuenta de la función tan importante que juega un controlador lógico programable, pues este brinda gran facilidad para registrar datos de sensores y pulsadores que al fusionarlos con temporizadores, contadores y funciones aritméticas entre registros se pueden almacenar y disponer en cualquier momento para ser visualizados.
- Con una HMI se pueden visualizar de una forma sencilla registros almacenados en dispositivos como los PLC. Al comunicar estos elementos, se pueden observar en línea cada una de las variables de proceso, ver cómo se comportan, y con esto posiblemente analizar la producción del día o hasta quizá predecir futuros daños en el sistema.

- Al observar en los datos registrados de las pruebas realizados, se concluye que la disponibilidad de un sistema disminuye a medida que el tiempo de paros aumenta. Con esto se puede decir que en el caso de una línea ensambladora de motocicletas la disponibilidad de producir unidades disminuye a medida que aumenta el MTBF.
- Con la tasa de ocurrencia de fallas se puede dar una idea de cómo se está comportando la producción, debido al número de paros por hora. Con esto se puede monitorear detalladamente el comportamiento de la línea de producción y atender problemas raíz con más velocidad y tiempos de respuesta más óptimos.
- Una línea ensambladora de motos es un sistema compuesto por grandes subsistemas que permiten conectarse entre sí, para extraer información de gran valor y validez sobre la producción que se está teniendo en dicha línea. Manejar de una manera coherente los datos implicaría el prevenir futuros daños en el sistema, además de encontrar y optimizar cada sector de la línea, hallando el momento exacto en el cual realizar el mantenimiento, entre muchos otros factores que podrían ser de una cuantía vital para el área de producción de cierta empresa.

18. RECOMENDACIONES

- Determinar por medio de un estudio previo a la línea ensambladora, cuáles serían las variables de proceso más útiles para cumplir el objetivo final que se plantea, ya que estas podrían ser de gran beneficio para obtener un éxito más rápido y marcado en el proyecto.
- Analizar con mayor detenimiento las posibles causas de los paros de línea existentes en el periodo de producción, ya que de esta manera, se hace más sencillo lograr filtrar algunas áreas en la línea de ensamble y enfocarse de una forma más profunda en aquellas que presentan más fallos y solucionarlos así efectivamente.

19. TRABAJOS FUTUROS

- El control de velocidad de la línea de ensamble juega un papel muy importante al momento de realizar una buena producción en el transcurso de día, ya que si el motor que mueve la línea posee una frecuencia muy alta, los operarios no serán capaces de realizar un buen ensamble de la motocicleta ya que tendrían poco tiempo para su labor, generándose así muchos paros de línea.
Por el contrario, si el motor maneja una frecuencia muy baja, no existirán tantos paros de línea, pero la producción del día se verá perjudicada ya que probablemente saldrían menos motos de las esperadas; es por esto, que implementar un control de velocidad a la línea de ensamble sería un muy buen proyecto, permitiendo optimizar tiempos de producción dependiendo obviamente del tipo de moto que se esté ensamblando y de la cantidad de operarios que vayan a efectuar la labor de conexión.
- Un proyecto interesante a su vez, sería el de llevar los datos consignados en la interfaz HMI hacia un computador o medio digital, que permita instantáneamente realizar informes y gráficas sobre la cantidad de paros que están ocurriendo y sus respectivos tiempos. Con esto, se garantiza llevar un orden a los datos que se están obteniendo del sistema, y así, ver periódicamente que sectores de la línea están fallando más, filtrando las zonas más críticas de ensamble, logrando a futuro dar soluciones más exactas y propuestas de mejor desarrollo para la línea.

20. BIBLIOGRAFIA

- [1] http://www.rocatek.com/forum_automatizacion_industrial.php. **Última revisión 18-09-2013.**
- [2] *Ramírez Cortés Cristian*, Apunte N°1 Automatización y Control de Sistemas, Universidad de Chile, 2001.
- [3] *Parr E.A, MSc, CEng, MIEE, MInstMC*, Programmable Controllers an engineer's guide.
- [4] *L.A Bryan, E.A Bryan*, Programmable Controllers Theory and implementation, *Second edition, 1997.*
- [5] *W. Bolton*, Programmable Logic Controllers, Fourth Edition, 2006.
- [6] *M Chao*, Microcontroller Theory and Application of Embedded Systems, 2007.
- [7] http://www.wikilearning.com/curso_gratis/introduccion_a_los_plc_s-definicion_de_plc/27315-1, **Última revisión 15-08-2013.**
- [8] *Ramírez Cortés Cristian*, Apunte N°1 Automatización y Control de Sistemas, Universidad de Chile, 2001.
- [9] <http://davidrojasticsplc.files.wordpress.com/2009/01/plc1s3.pdf>. **Última revisión 20-02-13.**
- [10] Estandarización en la programación del control industrial, Norma IEC 61131-3
- [11] <http://ecmweb.com/content/what-know-about-plc-ladder-diagram-programming>. **Última revisión 21-07-13.**
- [12] *Musalem M. Rodrigo A*, Programación en escalera.
- [13] <http://iaci.unq.edu.ar/materias/laboratorio2/HMI/Introduccion%20HMI.pdf>, "Introducción a HMI, Interfaz Hombre-Máquina". **Última revisión 22-07-13.**

- [14] <http://www.aie.cl/files/file/comites/ca/abc/hmi.pdf>. “El ABC de la automatización”. **Última revisión 22-07-13.**
- [15] http://www.idconline.com/technical_references/pdfs/instrumentation/oleprocesscontrol.pdf. **Última revisión 25-10-13.**
- [16] Estándar UNE EN 13306.
- [17] <http://gestionmantenimientoeficiente.blogspot.com/2013/03/terminologia-de-mantenimiento-segun-la.html>. **Última revisión 21-10-13.**
- [18] *Vignoni José Roberto*, Control de procesos, 2002.
- [19] *Smith David J*, Reliability, Maintainability and Risk. Practical methods for engineers. Sixth Edition.
- [20] *Guangbin Yang*, Life Cycle Reliability Engineering, 2007.
- [21] *Ponsa Asensio Pere, Vilanova Arbós Ramón*, Automatización de procesos mediante la guía GEMMA, 2005.
- [22] *Reea Jordi Breu*. Curso Guía GEMMA, 2004.
- [23] *Hernández Franco Heiderman, Gil César Augusto*, “Diseño del automatismo de una lavadora industrial mediante Grafcet y norma GEMMA”, Proyecto de grado Universidad Tecnológica de Pereira, 2011
- [24] <http://blog.utp.edu.co/ricosta/files/2011/08/1.-Ejemplo-Gu%C3%ADa-GEMMA.pdf>. **Última revisión 26-10-13.**
- [25] <http://edison.upc.edu/curs/grafcet/gemma/utiliza.html>. **Última revisión 28-10-13.**
- [26] International Standard IEC 61882, 2001.
- [27] *Manufacturing Technology Committee*, Risk Management Training Guides.
- [28] <http://pseint.sourceforge.net/index.php?page=pseudocodigo.php> **Última revisión 03-11-13.**
- [29] <http://www.automationdirect.com/static/specs/c000drd.pdf> **Última revisión 09-11-13.**
- [30] C-more micro programming software

[31] Click programming software