



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y
AUTOMATISMO

TEMA:

**Arquitectura SCADA para una red de aire comprimido en un proceso de
embutición metálica.**

AUTOR:

Martínez Villacres, Mauricio Manuel

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de

INGENIERO ELECTRÓNICO EN CONTROL Y AUTOMATISMO

TUTOR:

M. Sc. Mendoza Merchán, Eduardo Vicente.

Guayaquil, Ecuador

16 de septiembre del 2021



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y
AUTOMATISMO

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo de titulación, fue realizado en su totalidad por el Sr. **Martinez Villacres, Mauricio Manuel** como requerimiento para la obtención del título de **INGENIERO ELECTRÓNICO EN CONTROL Y AUTOMATISMO.**

TUTOR

M. Sc. Mendoza Merchán, Eduardo Vicente

DIRECTOR DE CARRERA

Ing. Heras Sánchez, Miguel Armando M. Sc

Guayaquil, a los 16 días del mes de septiembre del año 2021



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y
AUTOMATISMO

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Martinez Villacres, Mauricio Manuel**

DECLARO QUE:

El Trabajo de Titulación, “**Arquitectura SCADA para una red de aire comprimido en un proceso de embutición metálica.**” previo a la obtención del título de **Ingeniero Electrónico en Control y Automatismo**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

Guayaquil, a los 16 días del mes de septiembre del año 2021

EL AUTOR

MARTÍNEZ VILLACRES, MAURICIO MANUEL



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y
AUTOMATISMO

AUTORIZACIÓN

Yo, **Martínez Villacres, Mauricio Manuel**

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la **publicación** en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación, “**Arquitectura SCADA para una red de aire comprimido en un proceso de embutición metálica.**” cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 16 días del mes de septiembre del año 2021

EL AUTOR:

Martínez Villacres, Mauricio Manuel

REVISIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN CON PROGRAMA URKUND

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y AUTOMATISMO

TÍTULO: Arquitectura SCADA para una red de aire comprimido en un proceso de embutición metálica.


AUTOR: MARTÍNEZ VILLACRES, MAURICIO MANUEL

Curiginal

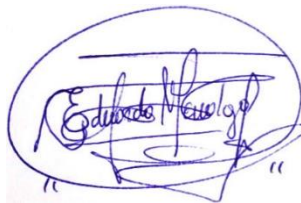
Document Information

Analyzed document	2021-09-01 Trabajo UTE Mauricio Martinez Villacres U.doc (D111952210)
Submitted	9/2/2021 4:30:00 AM
Submitted by	
Submitter email	eduardo.mendoza01@cu.ucsg.edu.ec
Similarity	1%
Analysis address	eduardo.mendoza01.ucsg@analysis.orkund.com

Sources included in the report

	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil / 2021-08-29 Marcelo Gutierrez Trabajo de Titulacion.docx	
SA	Document 2021-08-29 Marcelo Gutierrez Trabajo de Titulacion.docx (D111801498) Submitted by: eduardo.mendoza01@cu.ucsg.edu.ec Receiver: eduardo.mendoza01.ucsg@analysis.orkund.com	 11

Después de analizar el resultado enviado por el programa Urkund, se determinó que el trabajo de titulación del estudiante: **MARTÍNEZ VILLACRES, MAURICIO MANUEL**, observa un porcentaje inferior al 4% de coincidencias con otros documentos encontrados en el internet.



.....
Ing. Eduardo Mendoza Merchán, Mgs

DOCENTE TUTOR

DEDICATORIA

El presente trabajo de titulación es dedicado a mis padres quienes siempre me apoyaron en cada fase de mi vida, agradezco sus sabios consejo, su paciencia y, sobre todo, el esfuerzo realizado para poder alcanzar cada meta propuesta.

Cada meta alcanzada siempre será por y para ustedes.

AUTOR:

Martinez Villacres, Mauricio Manuel

AGRADECIMIENTO

En primera instancia, agradezco a mis padres, siempre estuvieron en cada momento bueno y malo de mi carrera, dándome su apoyo incondicional, estando siempre pendiente de mis pasos. A mi familia entera, a mi mamá, Mariana V., que siempre estuvo pendiente de mí y a pesar de los disgustos que le pude causar, estuvo a mi lado dándome su apoyo, aconsejándome y siempre empujándome a que me auto superé a mí mismo cada día.

Agradezco a mi mejor amigo, Jean L., aunque no esté siempre presente en cada momento, siempre está en los momentos claves de debilidad y angustia, en mis felicidades y victorias, dándome palabras de aliento y recordándome en cada momento que siempre se puede dar más y que nunca hay que rendirse.

Agradezco a mis compañeros de aula, que siempre estuvieron dispuestos a trabajar y contagiarme con el deseo de superación de forma diaria. A mis compañeros de titulación, que me apoyaron y guiaron para poder terminar con grata satisfacción esta etapa de mi vida.

A mi tutor de tesis, Ing. Eduardo Mendoza que, con paciencia y arduo trabajo, supo guiarme, brindar su apoyo y ofreciéndome todas las herramientas posibles para que logre culminar el trabajo de titulación y a los demás docentes que me brindaron sus conocimientos y consejos para poder alcanzar esta etapa de mi vida.

AUTOR:

Martínez Villacres, Mauricio Manuel



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y
AUTOMATISMO

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. 

M. Sc. Romero Paz, Manuel de Jesús
DECANO

f. 

M. Sc. Heras Sánchez, Miguel Armando
DIRETOR DE CARRERA



M. Sc. Orlando Philco Asqui
OPONENTE

3.6.3. Análisis de resultado del proceso de Embutición metálica.	86
3.6.4. Análisis de resultado del proceso de Control de Calidad y Almacenamiento.	87
4.1. Presentación de Resultados	90
4.1.1. Resultado del Modelado	90
4.1.2. Resultado del Estado del Arte	91
4.1.3. Resultado de la Arquitectura.....	91
4.2. Discusión de Resultados	91
4.2.1. Cumplimiento de Objetivos	91
4.2.1.1. Cumplimiento de Objetivo General	91
4.2.1.2. Cumplimiento de Objetivo Específico.	92
4.3. Análisis de metodología de investigación.....	92
4.4. Análisis del cumplimiento de funciones.....	92
4.5. Análisis del problema de investigación.....	93
5.1. Conclusiones	95
5.2. Recomendaciones	96
 BIBLIOGRAFÍA.....	 97
 ANEXOS.....	 100

Índice de Tablas

Tabla 3. 1. Especificaciones técnicas del PLC 1769-L30ERM	100
Tabla 3. 2. Especificaciones técnicas del Motor trifásico 3SIE132M2A.....	100
Tabla 3. 3. Especificaciones técnicas del compresor de aire Ingersoll Rand- (IR Nirvana 100 HP).....	101
Tabla 3. 4. Especificaciones técnicas de banda de transporte	101
Tabla 3. 5. Especificaciones técnicas del Transformador de corriente	101
Tabla 3. 6. Especificaciones técnicas de Anemómetro PCE-HVAC 2	102
Tabla 3. 7. Especificaciones técnicas del sensor MTH500S Sensor de humedad y temperatura	102
Tabla 3. 8. Especificaciones técnicas Tarjetas de entrada analógica 1734 IE4C	102
Tabla 3. 9. Especificaciones técnicas Tarjeta de salida	103
Tabla 3. 10. Especificaciones técnicas de la pantalla HMI PANEL VIEW 700 12" (2711R-T7T)	103
Tabla 3. 11. Especificaciones técnicas del módulo de comunicación N-TRON 708- TX	104
Tabla 3. 12. Especificaciones técnicas del módulo de poder 24VDC 1734- EP24DC	104

Índice de Figuras

Figura 2. 1. Estructura de sistema de aire comprimido	15
Figura 2. 2. Compresor tipo pistón	17
Figura 2. 3. Compresor tipo tornillo	17
Figura 2. 4. Tanques de aire comprimido	19
Figura 2. 5. Tipo de filtros de aire comprimido	20
Figura 2. 6. Componentes del secador de aire comprimido	20
Figura 2. 7. Sistema automático de control	22
Figura 2. 8. SAD Típico.....	24
Figura 2. 9. Estructura de un sistema automatizado	25
Figura 2. 10. Arquitectura de un autómatas programable	27
Figura 2. 11. Estructura de un sistema SCADA	28
Figura 2. 12. Componentes de un sistema SCADA.....	31
Figura 2. 13. Metamodelo del Diagrama de clases	33
Figura 2. 14. Diagrama de clase	34
Figura 2. 15. Diagrama de caso de uso	35
Figura 2. 16. Diagrama de Secuencia	37
Figura 2. 17. Diagrama de estado.....	39
Figura 2. 18. Ejemplo de Diagrama de Petri y Matriz de incidencia.....	42
Figura 2. 19. Esquema de la instalación y descripción del sistema productor-consumidor cuando se accede al almacén en exclusión mutua.	43
Figura 3. 1. Diagrama de Flujo del proceso de embutición metálica	48
Figura 3. 2. Diagrama de Bloque del sistema.....	51
Figura 3. 3. Arquitectura de Control de Automatización	53
Figura 3. 4. Topología y organización de equipos de control	55
Figura 3. 5. Organización del Sistema SCADA	57
Figura 3. 6. Arquitectura del sistema SCADA.....	58
Figura 3. 7. Proceso general de elaboración de envases metálicos.....	59
Figura 3. 8. Proceso de producción de aire comprimido.....	60
Figura 3. 9. Diagrama de Flujo- Proceso de elaboración de aire comprimido.....	61
Figura 3. 10. Proceso de elaboración de planchas de metal	61
Figura 3. 11. Diagrama de flujo- Proceso de elaboración de materia prima. Fuente: El Autor.....	62
Figura 3. 12. Proceso de elaboración de envases metálicos.....	63
Figura 3. 13. Diagrama de flujo- Proceso de embutición metálica.....	64

Figura 3. 14. Control de calidad y Almacenamiento	65
Figura 3. 15. Diagrama de flujo- Control de calidad y Almacenamiento	66
Figura 3. 16. Diagrama Caso de Uso- Proceso de generación de aire.....	67
Figura 3. 17. Diagrama Caso de Uso- Proceso de elaboración de materia prima. .	68
Figura 3. 18. Diagrama Caso de Uso- Proceso de Embutición metálica	69
Figura 3. 19. Diagrama Caso de Uso- Proceso de elaboración de materia prima. .	70
Figura 3. 20. Diagrama de Secuencia- Generación de aire comprimido.....	71
Figura 3. 21. Diagrama de Secuencia- Elaboración de materia prima.....	72
Figura 3. 22. Diagrama de Secuencia- Proceso de Embutición Metálica.....	73
Figura 3. 23. Diagrama de Secuencia- Control de Calidad y Almacenamiento.....	74
Figura 3. 24. Diagrama de Estado- Proceso de elaboración de aire comprimido. .	75
Figura 3. 25. Diagrama de Estado- Proceso de elaboración materia prima.....	76
Figura 3. 26. Diagrama de Estado- Proceso de embutición metálica	77
Figura 3. 27. Diagrama de Estado- Control de Calidad y Almacenamiento.	78
Figura 3. 28. Red de Petri- Proceso de Elaboración de Aire	79
Figura 3. 29. Red de Petri- Proceso de Elaboración de Materia Prima.....	80
Figura 3. 30. Red de Petri- Proceso de Proceso de Embutición Metálica.....	81
Figura 3. 31. Red de Petri- Control de Calidad y Almacenamiento.....	82
Figura 3. 32. Incidencia y Marcado del proceso de Elaboración de aire.....	83
Figura 3. 33. Análisis del espacio de estado del proceso de Elaboración de aire...84	
Figura 3. 34. Incidencia y Marcado del proceso de Elaboración de materia prima.	84
Figura 3. 35. Análisis del espacio de estado del proceso de Elaboración de materia prima.	85
Figura 3. 37. Análisis del espacio de estado del proceso de Embutición metálica..87	
Figura 3. 38. Incidencia y Marcado del proceso de Control de Calidad y Almacenamiento	88
Figura 3. 39. Análisis del espacio de estado del proceso de Control de Calidad y Almacenamiento.	89

RESUMEN

En las plantas de elaboración de envases metálicos, siempre están en constante crecimiento, y en la mayoría de los casos este crecimiento se da de forma desorganizada y esto desemboca en costos altos de operación, y por ello las plantas de producción permanentemente están en búsqueda de nuevos métodos de producción para ahorrar costes. Se implementa el modelado de un sistema de supervisión SCADA y el análisis para cada uno de los procesos mediante el uso de herramientas de modelo como los diagramas UML y redes de Petri, ajustándolas a una planta de elaboración de envases metálicos. La automatización en la actualidad ha tenido serios avances tecnológicos en cuanto al control y supervisión de procesos industriales que permiten monitorear y controlar de forma eficaz los sistemas, aportando beneficios y ventajas en los sistemas implementados. Para el desarrollo del presente trabajo de titulación, se hace el uso de métodos de modelado de Redes de Petri y diagramas UML que dan la facilidad de observar y analizar el comportamiento dinámico del sistema, de esta forma se puede identificar posibles fallos de operatividad, y proyectar una arquitectura que garantice la seguridad y la flexibilidad del sistema, basado en los avances y fundamentos teóricos en el área. Como resultado final, se consigue un modelado del sistema que cumple con las funciones principales propuestas para cada proceso involucradas. Además de poder diseñar una arquitectura de control que muestre el control en cada nivel de automatización.

Palabras claves: CONTROL, SUPERVISION, MODELADO, PETRI, UML, AHORRO, SCADA.

ABSTRAC

In metal packaging manufacturing plants, they are always in constant growth, and in most cases this growth is disorganized and this leads to high operating costs, and therefore the production plants are constantly looking for new production methods to save costs. The modeling of a SCADA supervision system and the analysis for each of the processes is implemented using modeling tools such as UML diagrams and Petri nets, adjusting them to a metal packaging manufacturing plant. Automation nowadays has had serious technological advances in terms of control and supervision of industrial processes that allow monitoring and controlling systems effectively, providing benefits and advantages in the implemented systems. For the development of this degree work, the use of Petri Nets modeling methods and UML diagrams that give the facility to observe and analyze the dynamic behavior of the system, in this way it is possible to identify possible operational failures, and to project an architecture that guarantees the security and flexibility of the system, based on the advances and theoretical foundations in the area. As a final result, a system modeling that complies with the main functions proposed for each process involved is achieved. In addition to being able to design a control architecture that shows the control at each level of automation.

Keywords: CONTROL, SUPERVISION, MODELING, PETRI, UML, SAVINGS, SCADA.

INTRODUCCIÓN

Las plantas de producción de envases metálicos operan en base a los parámetros de configuración de la sala de compresores que tiene como objetivo principal producir aire comprimido a un flujo de aire determinado, a una presión determinada. En el proceso de producción de envases metálicos se involucran diferentes procesos fundamentales, cada proceso tiene una función principal definida, dicho esto un sistema de supervisión y control ayudaría a mejorar el trabajo de cada fase mejorando las condiciones de operatividad y calidad.

El propósito de este trabajo de investigación se centra en la implementación de modelados a través de los diagramas UML, estos permiten comprender la lógica de la funcionabilidad de los procesos a mayor detalle, define los actores principales de cada proceso y las actividades ejercidos por los mismos y las secuencia en que cada actividad se ejecuta. Las redes de Petri ayudan a visualizar el comportamiento de forma general del sistema propuesto, incluyendo las condiciones que, requeridas por cada proceso, de esta forma ayuda a identificar posibles errores para luego proporcionar alguna solución técnica.

Para el desarrollo del presente trabajo de investigación, se propone una arquitectura de control descentralizada que ayuda con cumplimiento de las funciones de operatividad de cada proceso, el análisis de los resultados de cada proceso se realiza a partir de los modelados UML y redes de Petri de forma correspondientes.

Se plantea el siguiente problema de investigación para el presente trabajo: a falta de un sistema de control y supervisión en los procesos de una planta de elaboración de envases metálicos, un sistema que permita el control, la visualización de los estados de cada proceso, de esta forma evitando operaciones manuales que puedan generar algún problema de operatividad, al ser un método empírico, para el presente trabajo se propone una metodología de tipo correlacional con enfoque cuantitativo, debido a que se emplea criterios con fundamentos bibliográficos y se cuantifica los procedimientos del sistema haciendo el uso de métodos de simulación,

teniendo como objetivo principal de poder proponer un sistema de supervisión y control, haciendo el uso de herramientas de modelados UML y herramientas de simulación, al mismo tiempo que proponiendo una arquitectura de control con la capacidad de poder controlar los diferentes niveles de campos existentes.

El presente trabajo se divide en cinco capítulos, el primer capítulo se plantea las consideraciones generales que se deben de tomar en cuenta para el inicio de la investigación como: objetivos generales, objetivos específicos, etc. El segundo capítulo comprende de los detalles fundamentales teóricos citados a considerar como sistema de aire comprimido hasta sistemas de automatización. El tercer capítulo comprende el diseño del sistema de supervisión, se establece funciones del sistema, arquitectura de control, diagramas de flujo, diagramas UML y redes de Petri correspondientes a cada proceso. El cuarto capítulo es el análisis de los resultados obtenidos a partir de los modelos UML y redes de Petri. Y finalmente, el quinto capítulo se presenta las conclusiones y recomendaciones del presente trabajo de investigación, con la finalidad de complementar la información descrita en capítulos anteriores. En el apartado de anexos se describe las características técnicas de la instrumentación de campo empleada y sus características.

CAPITULO I: CONSIDERACIONES GENERALES

1.1. Planteamiento del problema.

La carencia de control dentro de los sistemas de aire comprimido existentes en las plantas modernas, puede desembocar en varias problemáticas. La detección temprana de fallos en los sistemas de aire comprimido es un tema de gran importancia para mantener un completo control del comportamiento operativo de la propia red de aire. Los comportamientos anormales dentro de estas redes provocan pérdidas en términos de calidad y energía mucho antes de que se conviertan en fallas críticas y provoquen pérdidas significativas para la empresa. Además, tener un completo conocimiento del estado del sistema es de suma importancia porque permite realizar gestiones racionales y eficientes del mismo para tener ahorros energéticos acorde a la demanda de producción que la planta tiene en tiempo real. Intentar proporcionar información de un estado inminente de fallo antes de que se produzca puede proporcionar una ventaja significativa a los operadores de poner en marcha contramedidas en términos de costes y plazos de tiempo. (Santolamazza et al., 2018)

El desperdicio energético en un sistema de aire comprimido tiene varios sinónimos, se relaciona directamente con la demanda de producción de aire comprimido, a mayor producción de aire comprimido, mayor será el consumo de energía que esta requerirá, tener un conocimiento preciso de los consumos de energía eléctrica es de máxima importancia dada la relevancia que tiene los sistemas de aire comprimido dentro de las industrias de producción. En base a lo expuesto se propone la siguiente pregunta de investigación:

¿Cuánto influye la arquitectura de automatización en la reducción del consumo de energía en un sistema neumático en procesos de embutición mecánica?

1.2. Justificación.

La mejora de la eficiencia energética en las empresas industriales es sin duda una de las principales prioridades a mejorar con el fin de reducir en un porcentaje considerable los consumos actuales de energía que tiene una industria. El accionamiento frecuente de los equipos de generación de aire sin saber la demanda verdadera es una de las razones por la cual puede haber mayor consumo de energía. (Benedetti et al., 2018)

En un sistema de aire comprimido se puede presentar diversos problemas que afectan directamente a la calidad del producto final y a la economía de una industria. Partiendo de esta premisa general, se propone investigar los conceptos necesarios de control, monitoreo y supervisión para poder implementar, modelar y recaudar información para la definición de un sistema óptimo de supervisión y control que pueda guiar al usuario consumidor de este recurso al correcto dimensionamiento de los equipos generadores de aire comprimido, filtros, tanques secos o húmedos acorde a las demandas de producción de una industria. Intentar definir una relación entre eficiencia energética y consumo, para poder mejorar rendimientos, tener una buena relación costo-beneficio, reducir los costos de mantenimiento y sobre todo proponer un sistema autónomo que pueda resolver problemas de demanda de aire comprimido en situaciones específicas, tales como cubrir picos de producción alta en una industria, sin importar el dimensionamiento de esta.

1.3. Delimitación.

A partir de los problemas expuestos, este trabajo está orientado a encontrar una solución apoyándose en las ramas de control, supervisión y automatización, teniendo como objetivo proponer un sistema de supervisión y monitoreo, que pueda analizar y estudiar el comportamiento de un sistema de aire comprimido, priorizando mantener una buena relación entre eficiencia energética y consumo acorde a las demandas de una industria. A su vez, se busca elaborar un análisis de la arquitectura propuesto, a través del modelado y simulación a fin de determinar el comportamiento del sistema. El uso de herramientas digitales de modelado, simulación, elaboración de esquemas de

eléctricos de conectividad y diagramas de control de procesos, son los elementos a proponer en este trabajo de investigación, para determinar el funcionamiento adecuado del sistema propuesto y evaluar los parámetros fundamentales del mismo.

1.4. Objetivos.

Los objetivos que se han definido para el presente trabajo de investigación son:

1.4.1. Objetivo General

Diseñar una arquitectura SCADA para una planta de embutición metálica utilizando herramientas de modelado y simulación gráficos para reducir el consumo de energía en un sistema neumático.

1.4.2. Objetivos específicos

- Proponer un sistema de control y supervisión SCADA que pueda medir las diferentes variables físicas dentro de un sistema de aire comprimido
- Modelar el sistema propuesto utilizando Lenguaje de Modelado Unificado y redes de Petri
- Evaluar el sistema a través de la simulación de la arquitectura SCADA propuesta y el análisis de las propiedades de las redes de Petri.

1.5. Hipótesis.

La finalidad del propósito de este proyecto es diseñar una arquitectura SCADA flexible que permita monitorear, controlar y supervisar el consumo de aire comprimido de cualquier sistema de aire comprimido, sin importar las dimensiones de equipos empleados en el sistema, diámetros de tuberías y números de herramientas mecánicas consumidoras de este recurso. Un sistema de supervisión fácil de montar, configurar y manejar, que permita alcanzar los objetivos planteados de este documento. Con estas características, se busca proponer un sistema ágil, flexible y expandible al

control de más elementos de consumo dentro de la red. Según todo lo expuesto con anterioridad, se plantea la siguiente hipótesis:

Utilizando una arquitectura de control distribuida se puede reducir hasta en un 50% el consumo de energía en un sistema neumático.

1.6. Metodología.

La elaboración de una arquitectura SCADA para una red de aire comprimido en un proceso de embutición metálica, conlleva a considerar diversos factores, tales como eficiencia de la red ya instalada, la capacidad de los equipos para generar aire comprimido, posibles problemáticas que se pueden presentar durante la operación de la red, etc. Estos factores a considerar, definen el tipo de investigación a emplear en este trabajo, tal como del tipo correlacional con enfoque cuantitativo, debido a que se debe establecer una relación entre los diversos factores y variables que se pueden presentar dentro de cualquier red de aire comprimido a supervisar. Las variables a ser analizadas y comparadas son medibles, por lo que el enfoque del estudio es de tipo cuantitativo. Se realizará simulaciones del sistema, como parte de la metodología a emplear, con la finalidad de establecer un modelo simplificado del sistema, en la cual se podrá analizar los comportamientos de la red. Además, de poder examinar posibles decisiones potenciales, se reducirá los tiempos de prueba, la formulación de propuestas a partir de los resultados obtenidos y de poder elegir posibles cursos de acción que favorezcan al desarrollo del sistema.

Para el desarrollo de la presente investigación se plantea las siguientes tareas de investigación:

- Revisar bibliografía de trabajos relacionados al tema a investigar y sobre modelados de sistemas de control
- Establecer el lugar donde se tomará de ejemplo para realizar la simulación
- Describir el sistema y determinar sus funciones
- Establecer la arquitectura de control del sistema, la arquitectura del sistema SCADA.

- Dividir en subsistemas sencillos todo el sistema a ser analizado
- Modelar cada uno de los subsistemas utilizando UML y simular utilizando las redes de Petri.
- Determinar el protocolo de comunicación a utilizar para los módulos de control
- Determinar los programas de simulación a utilizar para desarrollar el modelo de supervisión a estudiar,
- Diseñar el software de control y supervisión
- Pruebas de la simulación y mejoramiento del funcionamiento de la red
- Correcciones de errores en el modelado propuesto.
- Análisis de los resultados obtenidos del funcionamiento de la red.

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Estado del arte

A continuación, se expone el estado del arte, que está conformado por artículos actualizados del tema a abarcar.

Debido a que las industrias manufactureras se encuentran en un constante crecimiento, estas deben enfrentarse a retos económicos y necesitan continuamente aumentar la productividad y reducir los costos de fabricación. El sector industrial es un importante consumidor de energía eléctrica y otros recursos, por lo que repercute directamente en un grave impacto ambiental. En los últimos años se han implementado leyes y normativas orientadas a la reducción de los costes energéticos industriales, enfocándose directamente en sistemas para el mejoramiento del rendimiento energético, enfatizando en los requerimientos para el desarrollo de un diseño que pueda medir, documentar los procesos y supervisar los equipos, otros métodos evalúan los datos energéticos con el fin de determinar la eficiencia energética de ciertas unidades mecánicas. Es de gran importancia utilizar procedimientos y parametrizar de forma óptima los sistemas de supervisión, combinado con herramientas sistemáticas de alto nivel que ayudaran a minimizar los tiempos de ciclos y, por lo tanto, el consumo de energía. (Hacksteiner et al., 2017)

El gas natural es una de las principales fuentes generadoras de energía a nivel mundial. Sin embargo, las plantas y zonas consumidoras de este recurso suelen estar alejadas de las zonas productoras y de almacenamiento del gas. Por ello, el transporte y suministro de este recurso desde la estación de almacenamiento hacia las diferentes zonas que requieren del gas, suele ser muy difícil cumplir con la tarea. Es muy importante que el medio conductor, el gasoducto, este parametrizado de forma correcta, (parámetros como temperatura, la presión, el flujo, el estado del compresor, etc.) estén controlados y gestionados correctamente. Un sistema de control implementado con PLC y sistemas SCADA ayudan a tener una supervisión completa y segura. En el sistema de control automático del

gasoducto propuesto, el PLC y el SCADA supervisan de forma constante los parámetros del transporte de gas haciendo el uso de equipos e instrumentos acorde a las variables. De esta forma se cumple el objetivo principal de suministrar el gas al cliente de la manera más segura y rentable posible, logrando reducir la cantidad de trabajo, mejorando el nivel medioambiental y ahorrando costes. (Saravanan et al., 2018)

La eficiencia de los recursos en todos los campos, especialmente el aspecto de ahorro de energía, es un tema muy importante en todo momento. En las fábricas, el aire comprimido es muy utilizado habitualmente para la realización de una gran variedad de tareas, tales como la limpieza, funcionamiento de equipos neumáticos, pruebas de productos fabricados, etc. Sin embargo, debido a la caída de la presión y una tasa de flujo de aire baja, los sistemas de aire comprimido están asociados a una gran cantidad de pérdida en calidad y costos energéticos altos, suponen un gran coste para la empresa. Se propone un sistema combinado entre exergía y la eficiencia energética para la optimización de un sistema de aire comprimido integrado, así se reduce los esfuerzos de reducción de pérdidas energéticas y se impulsa el ahorro de costes, proporcionando un correcto dimensionamiento de los equipos generadores de aire comprimido, reducción de fugas de aire en el sistema. Por tanto, priorizar las decisiones de mejora es esencial para la generación de resultados positivos. (Taheri & Gadow, 2017)

La generación de energía a partir de fuentes renovables ha ido tomando fuerza y forma acorde al crecimiento industrial, la preocupación global por los cambios climáticos y la sostenibilidad. Las fuentes de energía renovable no dispersables e intermitentes, como la eólica y la solar, pueden satisfacer la oferta y la demanda necesaria, por lo que también puede causar deficiencia en la red eléctrica y problemas en el mismo. Algunas de las limitaciones de estos recursos renovables son su baja densidad de potencia e intermitencia, que depende de gran medida de las condiciones meteorológicas locales y las condiciones imprevisibles. La técnica de almacenamiento de energía en aire comprimido (CAES) es una técnica empleada para suministrar energía eléctrica para cubrir los picos de carga en los sistemas de suministro eléctrico. Una instalación de generación de energía

CAES utiliza compresores accionados por motores eléctricos para inyectar aire a un depósito, posteriormente, libereando el aire comprimido hace girar las turbinas y genera electricidad para alimentar a la red. La finalidad del proyecto, busca no depender de los combustibles fósiles y suplir la deficiencia de los recursos renovables ya conocidos, optimizando la generación de energía. (Borzea et al., 2019)

El avance de la economía a nivel mundial ha llevado a usar de forma efectiva y desarrollar nuevas fuentes de energía con la finalidad de reducir las emisiones contaminantes, eso incluye los gases de efecto invernadero, se ha convertido en uno de los principales retos a lo que se enfrenta nuestra civilización. La economía mundial está conformada por los sectores Interpenetrados de la producción de energía, la eliminación de residuos, la gestión del agua y las aguas residuales, el transporte y la gestión municipal. La generación de energía tiene aspectos importantes, tales como el rendimiento acorde a cualquier sistema energético, que busca garantizar el equilibrio entre la demanda y la producción de portadores de energía, sobre todo cuando estos se ven afectados por condiciones o factores que desequilibran su buen funcionamiento. La necesidad de una respuesta eficaz ante la problemática de producción, distribución de energía se justifica aún más cuando se producen grandes y frecuentes fallos en el suministro de la misma. Una solución tecnológica optima requiere de conocimientos especializados y de dominio que complementados con sistemas informáticos inteligentes. Los sistemas basados en modelados numéricos se usan cada vez más en el campo de generación de energía, desde la simulación de dispositivos individuales, pasando por diseño de sistemas de energía como centrales eléctricas, hasta modelos técnicos y sociales de sistemas enteros para una región. (Gaska & Generowicz, 2020)

El principal suministro de energía para los equipos de minería subterránea, son los sistemas de aire comprimido. Sin embargo, la conversión de energía eléctrica a energía mecánica mediante la compresión de aire es la más cara y menos eficiente en la industria minera. La ineficiencia de los sistemas de aire comprimido en el sector minero suele funcionar de forma no adecuadas, dando como resultado una baja producción y entrega del

suministro en las zonas de trabajo. Y un suministro insuficiente de aire provoca costosas pérdidas de producción. Los sistemas dinámicos y los cambios no planificados contribuyen a la imprevisibilidad de estos sistemas. Por lo tanto, las evaluaciones que se deben de considerar para la mejora operativa se vuelven complejas. Sin los estudios adecuados de evaluación, existen riesgos financieros y operativos a la hora de aplicar iniciativas pocas prácticas y de costos elevados. La realización de estudios de mejoras operativas requiere de métodos fáciles de usar, rentables y fiables para evaluar los sistemas de mejora propuesta mediante simulaciones. Este método es necesario para proporcionar a la industria minera la capacidad de analizar los sistemas de aire comprimido empleados, utilizando tecnologías de información y simulación disponible. (Mare et al., 2017)

El aire comprimido es compatible con muchos procesos industriales, su aplicación en industrias manufactureras es amplia, debido a facilidad de uso, limpieza y practicidad. Algunas de estas aplicaciones consisten en el accionamiento de herramientas y procesos como la agitación, el soplado, el moldeado y la clasificación. La fuente principal para producir aire comprimido suele ser la electricidad. En la mayoría de los países, la energía empleada para producir aire comprimido a nivel industrial representa el 10% de su consumo anual en electricidad. Sin embargo, la eficiencia de un sistema de aire comprimido suele ser muy baja. Por ejemplo, solo el 10- 15% del aire comprimido introducido en herramientas es utilizado como trabajo útil. Esta ineficiencia se debe a las pérdidas de calor durante la fase de compresión o a las fugas en el sistema. Las medidas que se optan para mejorar la eficiencia energética para los sistemas de aire comprimido ofrecen grandes oportunidades tanto de ahorro de energía como de rendimiento, sin embargo, no se le ha prestado suficiente atención. Se puede destacar que un sistema de aire comprimido eficiente, es decir un sistema de aire comprimido optimizado, utiliza 66% menos de energía que un sistema estándar. Por lo tanto, el correcto estudio de eficiencia energética ayuda de sobremanera a la implementación y el correcto dimensionamiento de cualquier sistema de aire comprimido acorde a las necesidades de la industria. (Nehler, 2018)

La demanda mundial de energía no ha dejado de aumentar desde la revolución industrial. Este aumento puede atribuirse principalmente al rápido desarrollo del sector industrial y minero para satisfacer las crecientes necesidades de la sociedad. La economía sudafricana se basa en la extracción y el procesamiento de minerales, esto los hacen los principales consumidores de energía a nivel mundial. Teniendo en cuenta la actual situación económica mundial y los retos a los que se enfrenta la rentabilidad de la minería en general, las medidas de conservación de la energía podrían ser muy valiosas para la producción sostenible. Las situaciones difíciles económicas, empujan a las empresas a investigar, integrar y aplicar medidas de EE (eficiencia energética) para mejorar la eficiencia operativa. En algunos casos, la aplicación de proyectos de eficiencia energética aporta beneficios adicionales y sinérgicos, además de los ahorros de costes energéticos habituales. Los resultados de estos proyectos revelan que la inclusión explícita de estos beneficios en los parámetros de modelización permite a la industria obtener una mayor rentabilidad, mejor potencial de coste- beneficio de los proyectos de EE. En definitiva, los beneficios que aportan los proyectos EE, influyen directamente en la productividad y en los ahorros energéticos en una industria. (Nel et al., 2018)

Según estudios realizados por Departamentos de Energía alrededor del mundo, aproximadamente el 10% de la electricidad consumida en una instalación industrial típica se destina a la producción de aire comprimido. En ciertos casos este porcentaje puede alcanzar el 30% o más. Gran parte de esta energía se desperdicia debido a la mala elección y dimensionamiento de los sistemas compresores y a la falta de control de los mismos. Además, se calcula que la mitad del aire comprimido generado se desperdicia. A pesar de que el desperdicio del aire comprimido se encuentra extendido, al buscar optimizar un sistema de aire comprimido, en la mayoría de los casos se descuida la eficiencia de la planta. Una evaluación a profundidad puede producir resultados relevantes. Intentar encontrar las problemáticas dentro de un sistema de aire comprimido puede dar como resultado diversas respuestas, tales como problemas de fiabilidad, un problema de calidad de aire o casi cualquier otra cosa. En casi todos los casos, lo que se identifica

como el primer problema en realidad solo es un síntoma del problema real. Tratar solo el síntoma y no la verdadera causa puede resultar caro e inútil. El síntoma volverá a aparecer hasta que se identifique y solucione el verdadero problema. (Energy Engineering, n.d.)

Contaminación en cualquier forma (por ejemplo, aire, luz, ruido, contaminación del suelo contaminación radiactiva, térmica y del agua) afecta en gran medida a la calidad de la vida humana. Debido a la creciente urbanización, los elementos contaminados aumentan cada día. Para esta problemática se propone un nuevo sistema SCADA que se una de sus características es integrar con la tecnología IoT para la monitorización de la calidad del agua en tiempo real. La contribución es triple: Módulo de sensores: fácil integración de sensores mediante el uso de plug and play; Módulo de comunicación: uso de tecnologías inalámbricas tecnologías 4G/5G para la transferencia en tiempo real de datos SCADA a la nube; y Módulo de generación de informes de informes: el análisis de datos se realiza en el servidor SCADA para generar informes en aplicaciones web y móviles. Esto es eficiente para detectar la contaminación del agua y analizar la calidad del agua de forma regular y automática. (Saravanan et al., 2018)

2.2. Sistemas de aire comprimido industrial

Los sistemas de aire comprimido son muy comunes en las industrias, es rara la planta que no utilice este sistema en alguna capacidad. Ya sea para facilitar un proceso o simplemente para alimentar herramientas, el aire comprimido tiene diversas utilidades y, al menos en la mayoría de las plantas industriales modernas, está presente en todos los procesos. Llega un punto en el desarrollo de una empresa que usa el aire comprimido como fuente de operación de varias herramientas, es posible que necesite más de este recurso si la empresa se encuentra en una planificación de crecimiento o en proceso de adquisición de procesos automáticos como tal.

Los sistemas industriales de aire comprimido proporcionan aire a presión en toda la instalación para hacer funcionar válvulas automatizadas, desviadores, compuertas deslizantes, colectores de polvo, instrumentos y

cualquier otro dispositivo. Los sistemas de aire comprimido también son necesarios para los procesos de fermentación aeróbica industrial. Un sistema de aire comprimido funciona con presión. Los compresores son un dispositivo mecánico accionado por motor que se utiliza para presurizar el aire. El motor puede ser de velocidad variable o estar encendido y apagado. El aire comprimido pasa por un secador para reducir la humedad y se distribuye por tuberías hasta la planta. En la figura 1 puede verse una estructura típica de un sistema de aire comprimido.

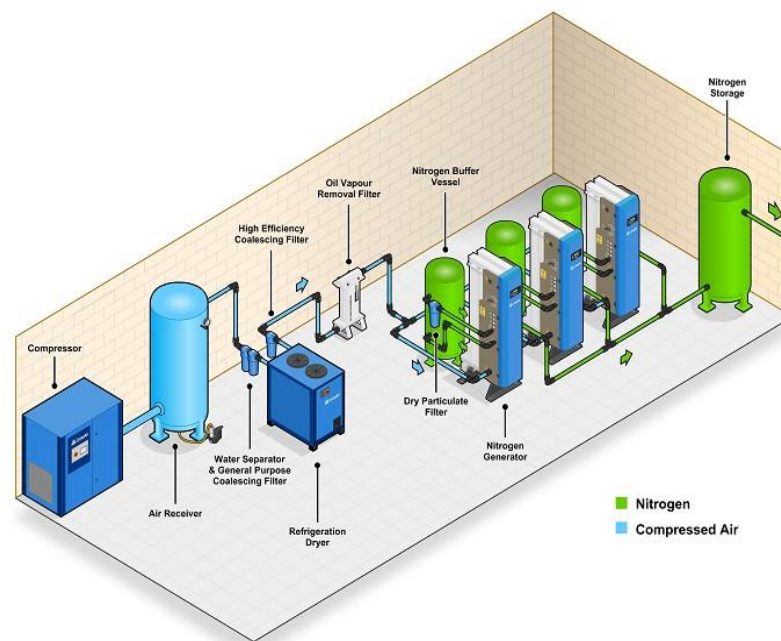


Figura 2. 1. Estructura de sistema de aire comprimido
Fuente: (TEBYC, 2020)

En la mayoría de los casos estos sistemas tienen un promedio de producción entre unas 80- 90 libras de aire comprimido en toda la instalación. Estos sistemas no son excesivamente complicados al momento de implementarlos, pero la situación se complica cuando existen modificaciones en la red que implican ampliaciones del sistema de tuberías que transportan el aire o cuando existen operaciones de más, a parte de las ya han sido contempladas para la elaboración de la red desde un principio. (Nehler, T.2018.)

2.2.1. Partes de un sistema de aire comprimido

Un sistema de aire comprimido típico se conforma de los siguientes componentes:

2.2.2. Compresor.

El compresor es el equipo principal del sistema. Los equipos compresores de aire se dividen en dos grupos acorde a como realizara la compresión del aire, se tiene por compresión de desplazamiento positivo y compresión dinámica.

Los compresores de desplazamiento positivo se puede encontrar los siguientes equipos: Compresores de pistón, compresores Scroll y los compresores de tornillo rotativo. La característica principal de los compresores de desplazamiento positivo tiene como característica principal que posee una cavidad que permite la entrada de una gran presión de aire atmosférico hacia la máquina. El aire que ingresa a través de esta cavidad, y a medida que va avanzando en la cámara de aire, esta se va reduciendo el volumen y acorde va disminuyendo el volumen, aumenta la presión del aire.

Un ejemplo del funcionamiento de este sistema de desplazamiento positivo, se tiene al compresor de pistón. Su funcionamiento consiste en el movimiento de un pistón, que sube por un cilindro, mientras realiza el movimiento reduce el espacio de arriba, por lo que el aire que se encuentra en la cámara, aumenta de presión para poder entrar en la cámara.

En esto tipos de compresores, pueden incorporar varias etapas de compresión para poder lograr la presión deseada, para lo cual son especializados y empleados en tareas de alta presión. En la figura 2 se muestra la forma y partes de un compresor tipo pistón (José, 2020).

2.2.3. Compresor tipo tornillo

Compresor de doble rotor o tipo tornillo, básicamente consiste en que atrapa y sella el aire entre un tornillo macho y hembra del rotor, normalmente

los compresores usan lubricantes como aceite, otros usan agua o recubrimientos especiales de teflón.



Figura 2. 2. Compresor tipo pistón
Fuente: (José, 2020)

El principio de compresión de aire es el mismo, el aire es captado, durante el giro y engrande de los rotores, el aire atraviesa los rotores y se dirige a un espacio cada vez más pequeño, a medida que el aire avanza a través de la cámara, aumenta la presión hasta que quepa en la cámara de compresión, después es liberado y avanza al siguiente equipo del sistema. En la figura 3 se muestra un compresor tipo tornillo marca KAESER. (eugeniocanero, 2017)



Figura 2. 3. Compresor tipo tornillo
Fuente: (J. R., 2019.)

2.2.4. Compresor scroll

Los compresores de este tipo poseen un solo rotor: de paleta o anillo líquido, también conocidos como compresores Scroll. El funcionamiento de este tipo de compresor consiste en el movimiento de un espiral de forma oscilatoria contra un espiral similar fija y, a medida que el movimiento se produce una contra la otra, la entrada de aire o cavidad de entrada del compresor que capta el aire, paulatinamente se vuelve más pequeña. Esta reducción de tamaño de la cámara de aire provoca y obliga al aire a reducirse al volumen fijo de aire comprimido dentro de la cámara admitida y a su vez el aire gana presión. Las ventajas de los equipos compresores de desplazamiento, también conocidos como compresores de flujo constante, es de que los compresores producirán el mismo flujo de aire comprimido a unas RPM determinadas del motor, sin importar la presión de salida.

2.2.5. Tanque de almacenamiento

Después de que pase el proceso de enfriado, el aire comprimido se dirige a un depósito de tanque, la cual dependiendo de la ubicación de este tanque en el sistema puede ser tanque de almacenamiento seco o un tanque de almacenamiento húmedo. A partir de aquí el tema de los equipos en un sistema de aire comprimido depende mucho de la calidad de aire que se quiere obtener para poder alimentar los procesos de producción o poner en marcha alguna herramienta.

Si el tanque de almacenamiento se encuentra justo después del proceso de enfriado, se llama tanque húmedo. Debido a que en este punto el aire comprimido posee partículas de agua y otras impurezas (como aceite, polvo, minerales, etc.) debido a que el aire aun no pasa a través de equipo de filtrado y secadora de aire, que más adelante se dará breves detalles de estos equipos. En la figura 4 se muestra modelos de tanque de almacenamiento marca KAESER. (KAESER COMPRESORES, 2018)



Figura 2. 4. Tanques de aire comprimido
Fuente: (KAESER COMPRESORES, 2018)

2.2.6. Filtros de aire comprimido

En esta etapa dentro del sistema generador de aire comprimido, se define en su mayoría la calidad de aire comprimido que quieres inyectar en nuestra planta de producción. Para eliminar de forma eficaz cualquier partícula e impureza que se encuentra en el aire comprimido, es necesaria una serie de filtros que eliminan la mayoría de los contaminantes sólidos y líquidos presentes en el aire.

En la actualidad, las plantas de producción modernas emplean equipos de producción de alto costo y de calidad para poder suplir la demanda de productividad del mercado moderno. Por ende, los equipos y herramientas empleadas para la producción diaria de una planta requieren de un aire comprimido de alta calidad, la contaminación del aire comprimido es una problemática real que se encuentra presente todo el tiempo y que no puede tomarse a la ligera o ignorada porque puede desencadenar en problemas de rendimiento y productividad de las máquinas. Incluso, hasta el proceso más simple que emplea aire comprimido requiere de un tratamiento mínimo, que incluye la eliminación de agua, aceite y sólidos. En la figura 5 se muestran los tipos de filtros que se pueden emplear para el filtrado del aire. (OMEGA AIR, 2018.)



Figura 2. 5. Tipo de filtros de aire comprimido
Fuente: (OMEGA AIR, 2018.)

2.2.7. Secadores de aire comprimido.

Los secadores de aire comprimido, aporta un beneficio muy importante al momento de tratar el aire comprimido, y este consiste en reducir de forma considerable los índices de vapor de agua o humedad presentes en el aire comprimido. Apoyan al tratamiento del aire comprimido, elevando su pureza, evitando que la humedad del aire genere corrosión en las estructuras distribuidores del sistema de aire comprimido y equipos. En la figura 6 se muestra los componentes de un secador de aire comprimido.

Componentes principales

- 1 Módulo del intercambiador de calor
 - a Intercambiador de calor aire/aire
 - b Evaporador aire/refrigerante
 - c Demister
- 2 Aire comprimido entrante -húmedo
- 3 Aire comprimido saliente- seco
- 4 Compresor
- 5 Condensador
- 6 Válvula de by-pass de gas caliente
- 7 Filtro de gas
- 8 Válvula de expansión
- 9 Purgador electrónico de condensado
- 10 Controlador

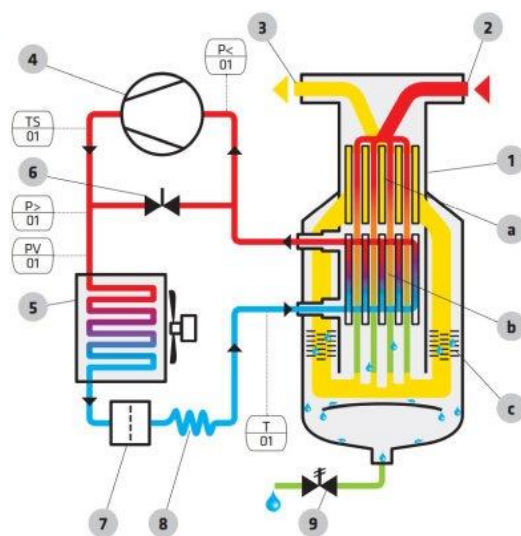


Figura 2. 6. Componentes del secador de aire comprimido
Fuente: (OMEGA AIR, 2020)

2.3. Sistemas de automatización

El nombre o término de automatización proviene de la sustitución de procesos técnicos realizadas por un recurso humano, reemplazándolo por equipos mecánicos, eléctricos, electrónicos o sistemas, con el objetivo final de poder optimizar el uso de los recursos disponibles y poder mantener una efectiva continuidad de los procesos.

Hoy en día, gracias al desarrollo de nuevas tecnologías y la existencia de nueva información que se encuentra al alcance de todos, se ha podido desarrollar nuevas metodologías y la implementación de nuevas estructuras de organización empresariales, de comunicación y facilita el manejo de información desarrollados en distintos formatos, pero manteniendo la misma esencia, implementando una nueva técnica de control de procesos, en otras palabras, desarrollar una arquitectura de automatización.

Para poder desarrollar un sistema de automatización, se debe partir del desarrollo de un modelado del proceso industrial a controlar, se establecen los conceptos de automatización a utilizar y se definen los requisitos requeridos para poder realizar una correcta implementación, muy aparte de los requisitos específicos del proceso particular. El sistema automático debe ofrecer una infraestructura que permita cubrir todas las fases y procesos de productividad, con la finalidad de promover un incremento de la producción, manteniendo o reduciendo los costos de los mismos. Para eso, un modelo de sistema automatizado debe de tener presente aspectos importantes, que son: Optimización, planificación, supervisión y control.

2.3.1. Automatización industrial

Para iniciar la implementación de un sistema automatizado, se debe partir en establecer un diseño capaz de ejecutar tareas de forma repetitiva y que sea capaz de controlar operaciones con la mínima intervención de un operador humano, debe de poder supervisar y controlar cada aspecto del proceso, que eso abarca desde la producción, almacenamiento y distribución. Para poder lograr los objetivos del sistema se debe involucrar la implementación de instrumentación, dispositivos de maniobra, maquinas mecánicas, autómatas, displays o paneles, SCADAs y redes de comunicación

que estén interconectado entre ellos, de esta forma se implementa un sistema automatizado óptimo (José AGUILAR, 2012). En la figura 7 se muestra el esquemático la ruta de la consigna y como el sistema devuelva información.

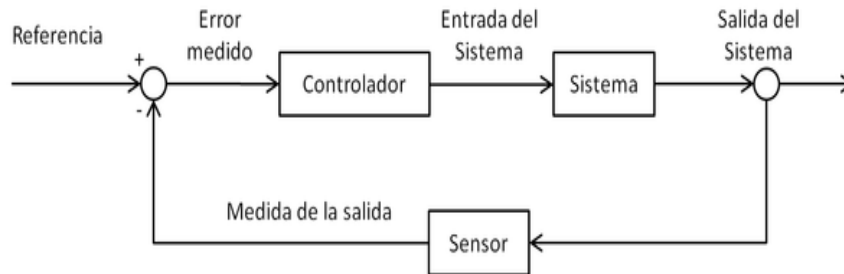


Figura 2. 7. Sistema automático de control
Fuente: (Gustabo Altamiranda, 2020.)

Un sistema automatizado puede lograr (Jose AGUILAR, 2012):

- El mejoramiento vidente de la productividad de una empresa, buscando reducir costes en la producción y mejorar la calidad de la misma.
- Busca mejorar las condiciones de operación laboral del personal de trabajo, suprimiendo posibles errores de operación que involucran un alto esfuerzo y disminuyendo la inseguridad del entorno.
- Realiza las operaciones imposibles de control intelectual y evita los accionamientos manuales
- Administra y mejora la disponibilidad de materia prima, se esta forma optimiza y provee las cantidades necesarias en momentos necesarios.
- Reduce los procesos de producción de tal forma que el operador no requiera de mucha capacitación para poder operar de forma óptima los procesos de producción.
- Integra en un solo sistemas, protocolos de gestión y da apoyo a los sistemas de producción.

Un sistema automatizado, debe de contar con una arquitectura capaz de permitir la implementación de procesos esenciales como la captación, adquisición, control y supervisión de todos los actuadores, sensores instalados en la planta o empresa. En resumidas cuentas, un sistema automatizado debe de contar con una arquitectura que pueda proveer eficacia

con la finalidad de elevar la productividad, y, sobre todo, mantener o reducir los costes de producción.

2.3.2. Adquisición de datos.

El proceso de adquisición de datos en un sistema automatizado, es parte esencial del proceso, consiste en la captación de datos del mundo físico, son procesados, almacenados y usados. Los equipos especializados en este proceso se llaman Sistemas de Adquisición de Datos (SAD) y son ampliamente usados en los procesos industriales. Estos sistemas son mayormente utilizados en los campos de investigación, desarrollo, producción, control de procesos, control de calidad, procesos de prueba, etc.

Para poder cumplir este proceso, por lo general se utiliza un computador para la adquisición de datos, prácticamente el no participa directamente con la función de control, el computador en estas circunstancias opera en línea y en tiempo real con el proceso, hay que aclarar que este equipo no cierra ningún lazo de control.

A través de un sistema de entradas y salidas de señales, el computador se ayuda de este sistema para poder mantener actualizada la información y de esta forma tiene conocimiento pleno de lo que ocurre en su entorno. Las señales de entradas y salidas pueden ser analógicas o digitales la cual se adecuan acorde a los requerimientos del computador.

La mayoría de los procesos a controlar son procesos industriales continuos, el computador para que pueda obtener información en esos entornos y poder manejar de forma óptima las variables del proceso y los elementos finales de control, es necesario realizar un proceso de adquisición, acondicionamiento y conversión de señales continuas, el sistema que permite facilitar este trabajo se denomina SAD (sistemas de adquisición de datos).

Un sistema de adquisición de datos convencional, en él se puede distinguir los siguientes elementos:

- Transductor. Estos elementos permiten obtener de forma señales eléctricas equivalentes a alguna variable física.

- Multiplexor. Son dispositivos capaces de recolectar datos a través de diferentes canales y redirigirlo a un único convertidor Analógica- Digital (ADC)
- Acondicionador de señales. Estos elementos son capaces de filtrar y adecuar los niveles de voltaje o de corriente de las señales eléctrica acorde a las características del ADC.
- Convertidor Analógico- Digital. La característica principal de este elemento es que puede convertir señales analógicas en señales digitales. Otra característica de este dispositivo es la longitud de la palabra digital, consiste en la resolución en bits y la frecuencia de muestreo.
- Unidad de procesamiento de datos. Todos los datos que emite los ADC, están encaminados directamente a una unidad de procesamiento de datos. Dependiendo de la estructura del SAD implementado, este elemento puede variar entre un microprocesador o un computador digital, estos pueden ser una Unidad de Transmisión Remota (RTU), un Maestro de Transmisión Remota (MTU). El resultado de los datos procesados puede dirigirse a cualquiera de los siguientes destinos: Memoria, Unidad de presentación visual, Sistema de alarma.

A continuación, en la figura 8 se muestra la estructura tradicional de un sistema de adquisición de datos.

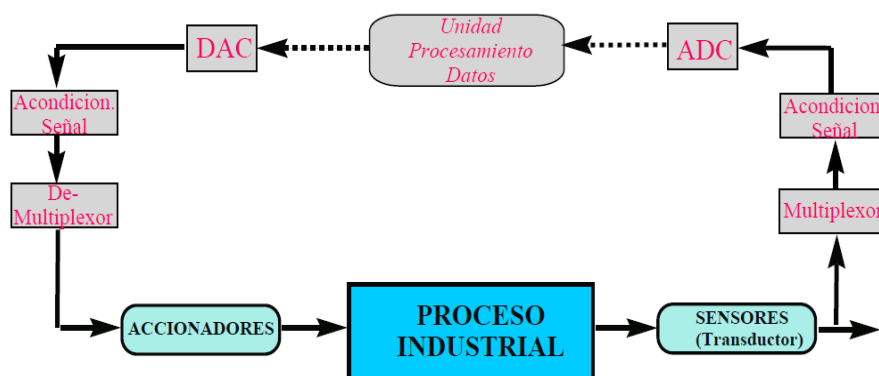


Figura 2. 8. SAD Típico
Fuente: (José AGUILAR, 2013.)

2.3.3. Arquitectura de sistemas Automatizados

El uso constante de información, es la mejor estrategia empleada por los sistemas automatizados, hacen uso recurrente de los estados internos, estos indican la disponibilidad de productos, capacidades y condiciones de la planta, información externa, esta se refiere a las condiciones del mercado, estas pueden influir en el tipo de producción a realizar durante lapsos de tiempos establecidos. Esto es esencial para la planificación de los procesos de producción (Jose AGUILAR, 2012).

Para poder implementar un proceso automatizado, se debe considerar los aspectos mencionados. Puede existir complicaciones al intentar establecer una arquitectura, todo se puede complicar sino se dispone de una plataforma de datos seguros, no se cuenta con alta disponibilidad de los elementos de control, tanto decisorio como regulatorio.

La poder implementar un sistema automatizado, participan varios componentes como sistemas informáticos, sistemas decisorios, sistemas de apoyo a la toma de decisiones, todos los componentes anteriormente mencionados han sido ampliamente planteados para que puedan trabajar en industrias manufactureras y también en industrias de procesos.

Realizando una vista general, para poder implementar un proceso automatizado dentro de una planta, se debe incorporar la fase. En la figura 9 se muestra la estructura de una arquitectura de automatización.

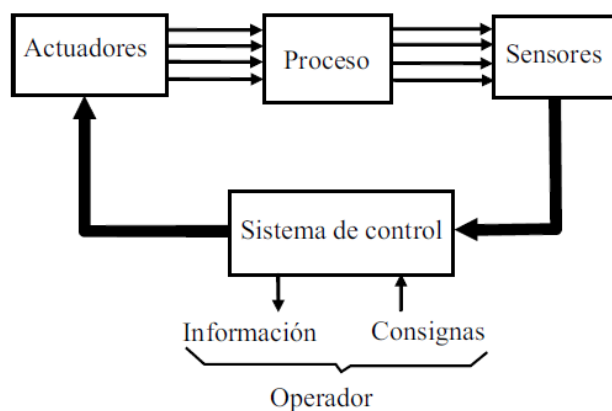


Figura 2. 9. Estructura de un sistema automatizado
Fuente: (Roberto Sanchis Llopis, 2020)

2.3.4. Requerimientos para implementar un proceso automatizado.

Para poder alcanzar los objetivos fundamentales de las arquitecturas automatizadas para poder controlar de forma global una planta de producción, tiene que venir acompañado por un ambiente que permita implementar el sistema propuesto, permita planificar y secuenciar las operaciones integradas con el resto de actividades que conllevan a completar los procesos de producción

Los puntos que se deben de tomar en cuenta para poder integrar las operaciones necesarias son (Jose AGUILAR, 2012):

- Se debe de tener la disponibilidad de una plataforma de datos y un sistema información, esto deben de disponer de la información necesaria para poder realizar las funciones o cumplir los procesos de producción, también implica actividades de optimización y planificación global de los procesos de producción.
- Las unidades disponibles de producción asociadas al proceso global de producción deben de disponer de modelos internos asociados a la física del proceso, con la finalidad de poder realizar una optimización local del mismo.
- Las unidades disponibles de producción asociadas al proceso global de producción deben de disponer modelos asociados a estas unidades, capaces de poder interferir, mejorar rendimientos, tener siempre disponibilidad de sistema, capacidad de producción, etc., esto con la finalidad de tener la facilidad de planificar actividades en base a cada unidad de proceso.
- Todos los modelos disponibles en el sistema deben de estar asociadas con las interacciones entre las diferentes unidades disponibles.

En la figura 10 se explica a más detalle la arquitectura de un sistema automatizado.

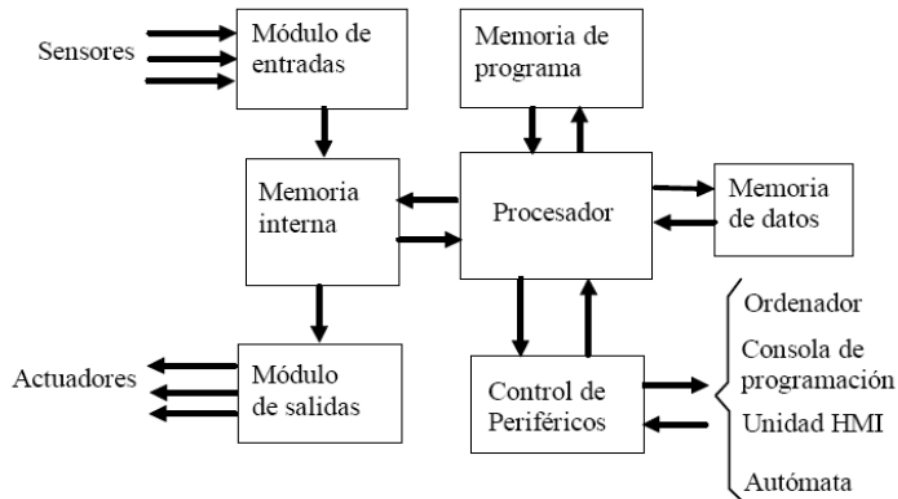


Figura 2. 10. Arquitectura de un autómata programable
Fuente: (Roberto Sanchis Llopis, 2020)

2.4. Sistemas SCADA

En la actualidad, es desarrollo de nuevas tecnologías para mejorar la supervisión y control, han desembocado en el desarrollo de sistemas SCADA, estas permiten al usuario poder recoger información o datos de una o más de equipos y sensores ubicados en distintos lugares de una planta de producción o manufacturera, además de recoger información de distintos dispositivos, también puede emitir instrucciones u órdenes a estos equipos para que realicen alguna función en específico (Boyer, 2009).

En la actualidad, los sistemas de control y supervisión han tenido más acogida en procesos industriales, los sistemas SCADA tienen la ventaja de poder trabajar sin la intervención de un operador que este de forma permanente en el lugar o que este visitando con frecuencia las instalaciones remotas, porque estas pueden operar con normalidad. Un sistema SCADA incluye una interfaz para el operador, en la cual puede manipular los datos relacionados con las aplicaciones que controlan y supervisan los procesos. En la figura 11 se muestra la estructura de un sistema SCADA.

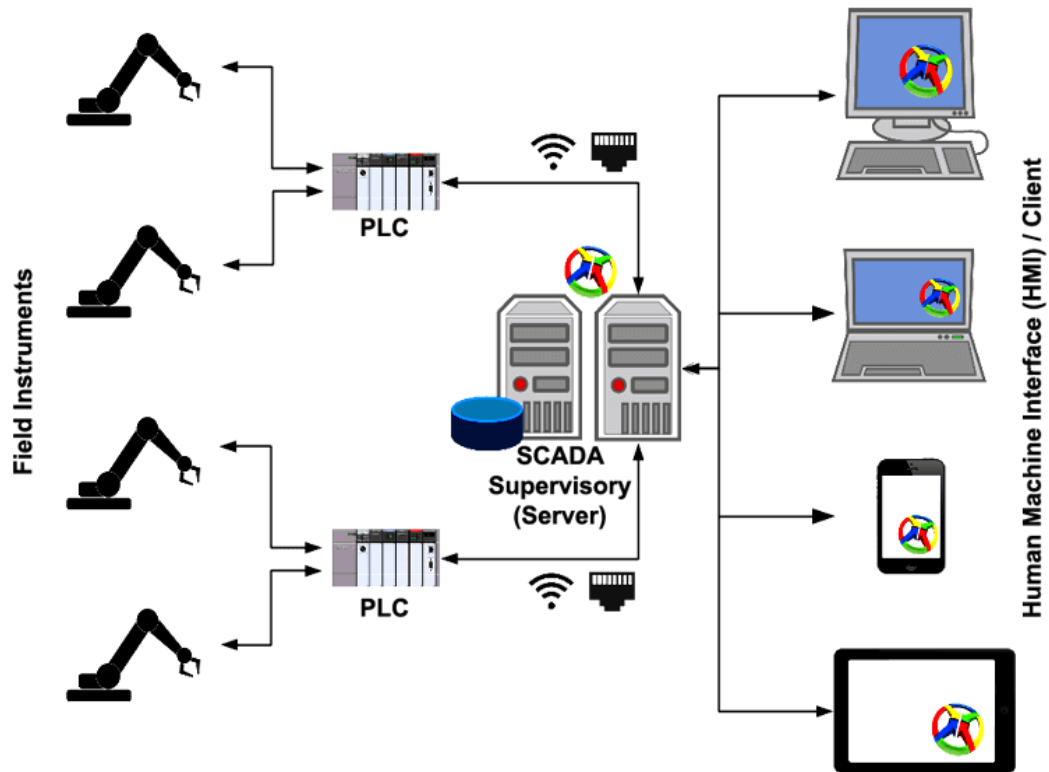


Figura 2. 11. Estructura de un sistema SCADA
Fuente: (ECAVA, 2017)

2.4.1. Definición de SCADA.

SCADA es un acrónimo formado por las primeras letras del término "supervisory control and data acquisition". Un sistema SCADA permite a un operario situado en un lugar central de un proceso ampliamente distribuido, como un yacimiento de petróleo o gas, un sistema de tuberías, un sistema de riego o un complejo de generación de energía hidroeléctrica, realizar cambios en el punto de ajuste en controladores de proceso distantes, abrir o cerrar válvulas o interruptores, controlar las alarmas y recopilar información de medición (Boyer, 2009). Cuando las dimensiones del proceso son muy grandes -cientos o incluso miles de kilómetros de un extremo a otro- se pueden apreciar las ventajas que ofrece el SCADA en cuanto a la reducción del coste de las visitas rutinarias para supervisar el funcionamiento de las instalaciones. El valor de estos beneficios crecerá aún más si las instalaciones son muy remotas y requieren un esfuerzo extremo para visitarlas.

2.4.2. Procesos aplicables.

Los sistemas SCADA tiene un mejor desempeño aplicándolos directamente a procesos que están situados en grandes áreas, estos sistemas son fáciles de operar, controlar y supervisar, la ventaja de estos sistemas que no requieren de una asistencia frecuente, regular o inmediata para poder operar.

Las aplicaciones que se mostraran a continuación, ayudasen a la mejor comprensión de sistema.

- Plantas energéticas con funcionalidad hidráulica, estas plantas se encienden y apagan acorde a la respuesta inmediata de la demanda de diversos clientes ubicados en cualquier parte del territorio. Estas plantas al estar ubicadas en lugares remotos, pueden llegar a ser controladas de forma remota para la apertura y cierre de válvulas de las tuberías, estas deben de supervisarse de forma continua y deben de responder con suma velocidad ante las demandas de la red eléctrica. Estas plantas al estar ubicadas en lugares remotos, pueden llegar a ser controladas de forma remota para la apertura y cierre de válvulas de las tuberías, estas deben de supervisarse de forma continua y deben de responder con suma velocidad ante las demandas de la red eléctrica
- Instalaciones de producción petrolera o gas, usan sistemas de recogida, sistemas de medición de fluidos y equipos de bombeo, por lo general se encuentran dispersas en grandes extensiones, estos equipos y sistemas requieren de controladores sencillos, que manejen encendidos y apagados de los motores, a su vez el sistema necesita recolectar información de los contadores de forma frecuente y deben de responder de forma inmediata a los cambios.
- En redes de tubería que transportan gas, petróleo, productos químicos o agua, poseen sensores ubicados a diferentes distancias con respecto al punto de control central, en estos sistemas se controla la apertura y cierre de válvulas, encendidos y apagados de bombas, estos elementos deben de ser capaces de responder de forma inmediata a las demandas del mercado y, sobre todo, a las fugas de materiales

peligrosos o sensibles, sustancias que representen un peligro considerable al medio ambiente.

- Las redes de transmisión eléctrica pueden abarcar miles de kilómetros cuadrados, el control de interruptores debe de responder casi inmediato al cambio de carga en las líneas.

Los sistemas SCADA han ido evolucionando acorde a los avances tecnológicos que se van presentando cada año. Estos sistemas de supervisión han sido instalados con éxito y han demostrado un desempeño pulcro con respecto al control y supervisión expuestos en los ejemplos anteriores. (Boyer, 2009)

2.4.3. Elementos de un sistema SCADA

En la figura 12 se presenta los principales componentes que conforman un sistema SCADA.

En primera instancia, en el centro del sistema se ubica el operador, este tiene acceso a la información del sistema a través de una interfaz denominada “consola de operador”. Esta interfaz se encuentra situada en una pantalla de visualización que proyecta los datos en tiempo real sobre el estado del proceso y un teclado para poder introducir nuevos comandos o mensajes del operador. A parte de la pantalla, se puede utilizar un cursor, un trackball, un ratón o una pantalla táctil.

En el caso de contar con un sistema básico, se puede emplear un sistema de interruptores eléctricos básicos. El operador interactúa directamente con la unidad terminal principal (UTP), que es el controlador del sistema. En algunos sectores del sistema se emplea el término “ordenador central” en lugar de UTM. La MTU en un sistema SCADA, se basa en un ordenador. Este equipo puede operar, supervisar y controlar el sistema incluso cuando el operador no está presente. Este proceso lo logra a través de un programa incorporado que puede modificarse para repetir instrucciones en intervalos determinados.

Las MTUs se debe de comunicar con las RTUs que se encuentran alejadas de la unidad de control centra. Un sistema SCADA puede contar con tan solo una RTU o varios. En algunos sistemas grandes pueden llegar a utilizar una combinación entre radio frecuencia y señal de teléfono para la comunicación. Una de las características distintivas de los sistemas SCADA es que sus procesos tienden a ser simples. La cantidad de información que se mueve a través de un sistema SCADA tiene a ser bastante pequeña y la velocidad de datos a la que trabaja el módulo de comunicación también suele ser pequeña. En la figura 12 se muestra los componentes de una red.

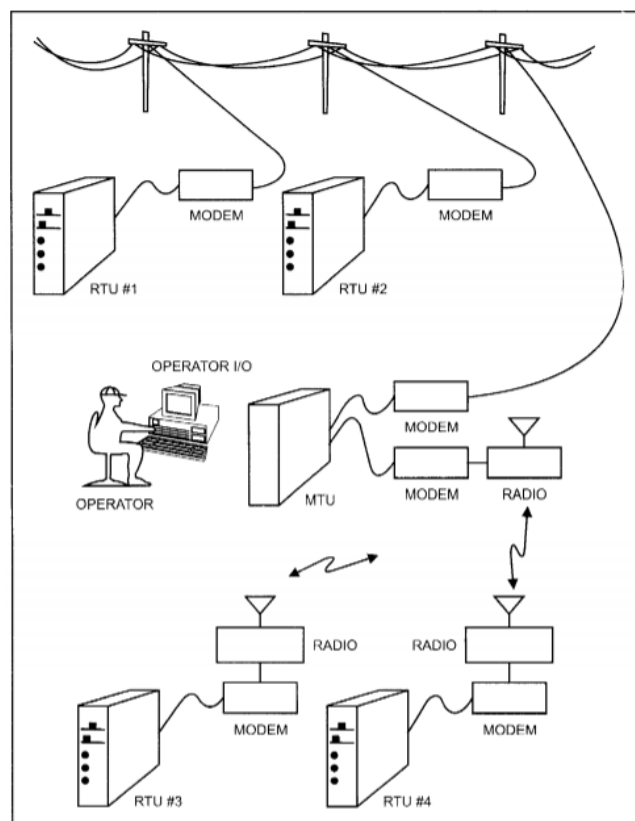


Figura 2. 12. Componentes de un sistema SCADA
Fuente: (Boyer et al., 2017.)

Los sistemas SCADA actuales presentan características de control predominantes de bucle abierto, aunque también puede haber algunos elementos de control de bucle cerrado y/o comunicaciones de corta distancia. Este conjunto de equipos proporciona información suficiente al operador para poder determinar el estado de un equipo en específico. (Boyer, 2009)

2.5. Lenguaje de Modelado Unificado

El lenguaje de modelado unificado o UML en sus siglas en inglés (Unified Modeling Language) es un lenguaje de análisis y diseño orientado a objetos, que tuvo su aparición a finales de la década de 1980 y principios de la siguiente. Este lenguaje de modelado se basa en anotar de forma gráfica el proceso para poder expresarlo de forma gráfica. De esta forma nos orienta sobre los pasos a seguir para poder realizar el diseño del proceso.

UML en se define como un lenguaje que emplea la notación y el metamodelo. La notación en UML, consiste en el material gráfico que se visualiza en los modelados; es la conexión que se muestra en el lenguaje de modelado. Tomando un ejemplo, la forma en cómo se representa las definiciones, conceptos y temas como clase, asociación, es denominado a través de un diagrama. Lo esencial antes de realizar el modelado, es centrarse en los temas claves para el desarrollo. La mayor parte de los métodos de diseño orientados a objetos tiene un escaso rigor, su notación es más intuitiva que formal. Estos métodos son informales, pero la mayoría de las personas que emplean un lenguaje de modelado, le encuentran una utilidad a este método.

Los metamodelos, son trabajos que emplean los métodos de orientación de objetos, estos métodos, buscan la forma de hacer el modelo más riguroso sin sacrificar utilidad. Los metamodelos emplean diagramas, por lo general es un diagrama de clase que define la notación (Fowler, 2000). En la figura 13 se muestra una pequeña parte de lo que se puede realizar con el metamodelo. En este caso se muestra las relaciones existentes entre asociaciones y generalizaciones. El metamodelo ayuda al usuario a definir un modelo bien formado, que sintácticamente está bien formulado. Hay varias técnicas en el UML que se pueden emplear al momento de empezar a diseñar, hay métodos que facilitan al usuario al momento de dibujar para tener un buen desarrollo de Orientación en Objetos (OO).

Metamodelo del Diagrama de Clases (simplificado)

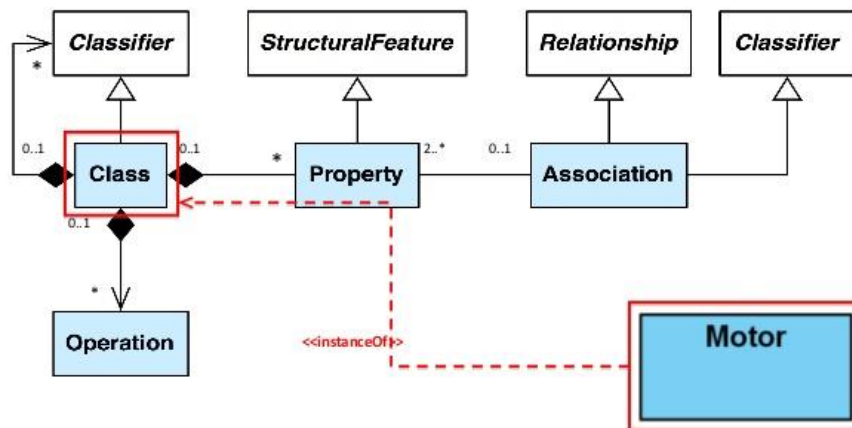


Figura 2. 13. Metamodelo del Diagrama de clases
Fuente: (Estrada, 2016.)

El empleo de tarjetas CRC, es la técnica más valiosa al momento de aprender OO. Estas tarjetas fueron diseñadas para específicamente trabajar con objetos, este método es diferente a los otros métodos tradicionales de modelado existentes. Estas tarjetas presentan ausencia de notación compleja y realizan énfasis en las responsabilidades, por esos motivos las hace particularmente valiosas.

Los diagramas de interacciones hacen los trabajos muy explícitos y enfatizan en la estructura de los mensajes, estos tienen la ventaja de poder resaltar los diseños que son demasiados centralizados o sobre centralizados, en los que un solo objeto realiza mucho o en su totalidad los trabajos.

Los diagramas de clases, son empleados para mostrar modelos de clases, con respecto a los métodos empleados anteriormente, esta técnica presenta una forma de aprendizaje regular para aprender Objetos. Este modelado presenta similitudes al modelado de datos, ambos modelos presentan beneficios si uno se apoya del otro. Uno de las mayores complicaciones que presenta este método es que resulta más factible desarrollar un diagrama de clases orientado a datos que uno orientado a responsabilidades.

Para poder aprender OO, se debe de revisar el concepto de patrones. El empleo de este concepto da como resultado un buen diseño de OO y poder aprender con base en ejemplos. (Fowler, 2000)

2.5.1. Diagramas de clases: Fundamentos.

El diagrama de clases, se ha vuelto un método muy importante de orientación a objetos. Además de ser de uso extendido, esta se asocia a una amplia gama de conceptos de modelado. Este método describe los tipos de objetos que se encuentran en el sistema y diversas clases de relaciones estáticas que existen entre ellos. Existen dos tipos principales de relaciones estáticas: Por asociaciones y por Subtipos.

Este método muestra los atributos y las operaciones de una clase a su vez de las restricciones que se encuentran asociadas a los sujetos. A continuación, en la figura 14 se muestra un ejemplo de Diagrama de clase.

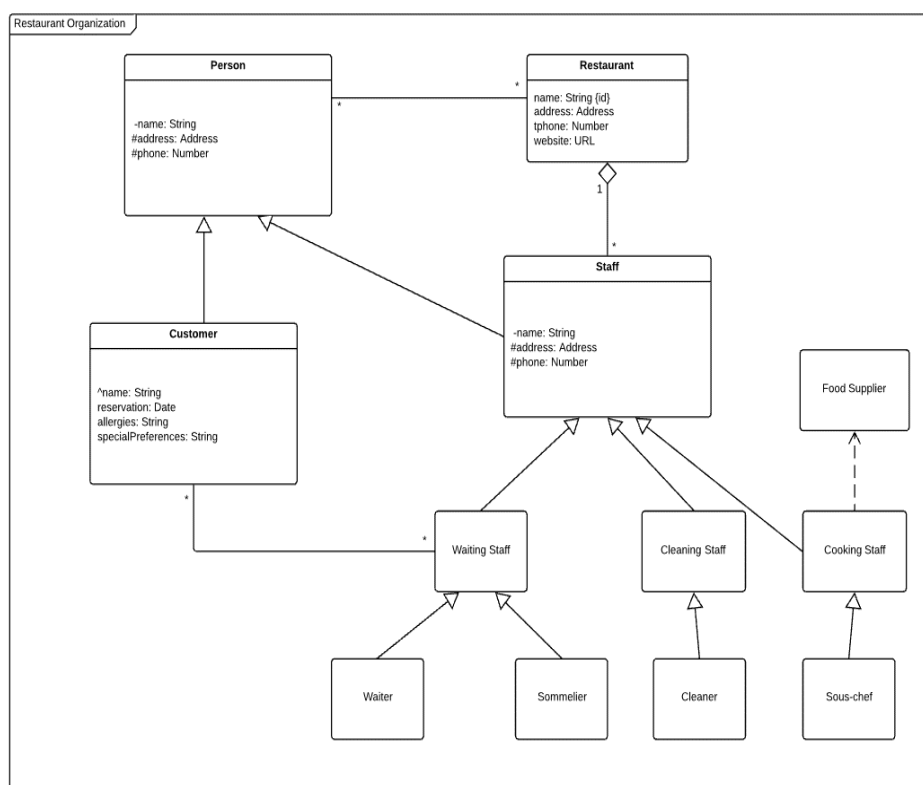


Figura 2. 14. Diagrama de clase
Fuente: (IONOS, 2019)

2.5.2. Diagramas de casos de uso

Para poder entender lo que es un diagrama de caso de uso, se empezara explicando y analizando la figura 15. El primer aspecto a explicar es sobre los actores.

Los actores son los que ejecutan los casos de uso. Un solo actor puede realizar varios casos de uso, o de forma inversa, un solo caso puede llegar a ser realizado por varios actores.

Durante la ejecución del diagrama, los actores son muy importantes y útiles cuando se trata de definir los casos de usos. Hay casos donde se tiene un sistema muy grande, es difícil llegar a obtener el listado de todos los casos de uso. En estos casos es más factible definir el listado de actores y partiendo de este punto, se intenta definir los casos de usos de cada actor.

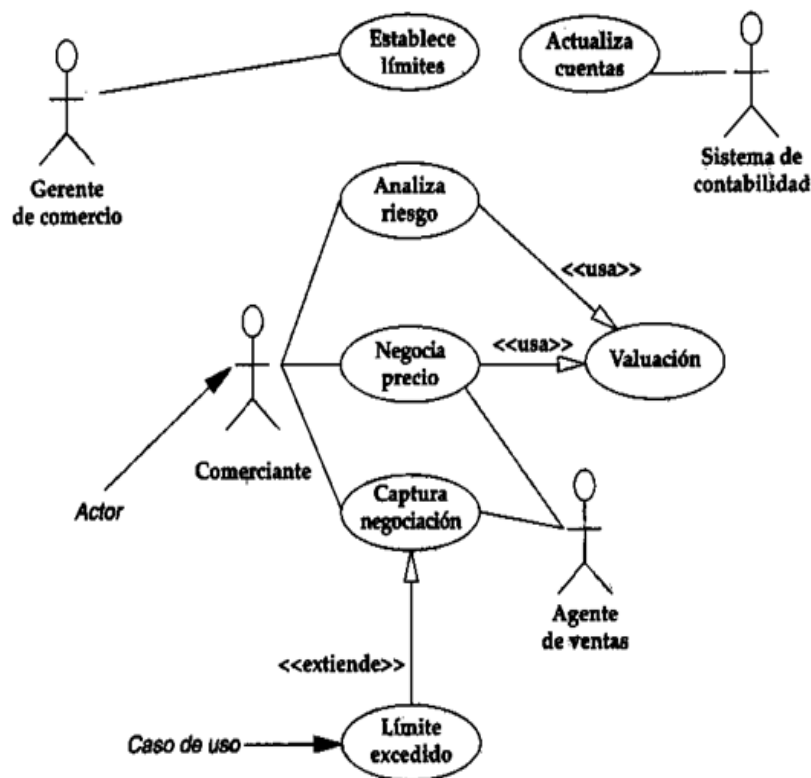


Figura 2. 15. Diagrama de caso de uso
Fuente: (Cevallos, 2015)

La representación de los actores en el sistema no necesariamente debe de ser un humano, aunque la representación gráfica da a entender eso. Los actores también pueden llegar a ser sistemas externos que soliciten información del sistema actual.

La relación entre los acotes y los casos de uso, no es necesario que exista una relación directa y exacta entre ellos. Lo que tiene más importancia son los casos de uso, los actores solo son un medio para poder llegar a ellos. Siempre y cuando se pueda obtener todos los casos de uso, las especificaciones de los actores no tienen mucha relevancia.

Existen otras relaciones entre los casos de uso, esto son los Uses (usa) y Extends (extiende).

La relación Extends se usa en situaciones en que se tiene casos de uso que son similares a otros casos de uso, pero con la diferencia que uno realizara un poco más. En ciertos casos cuando se empieza a elaborar los casos de uso, se puede llegar a dividir los casos de uso, por el motivo que ciertos casos de uso se tornan complicados de ejecutar. La división de los casos de uso se da cuando no se puede completar un caso de uso en una sola acción o interacción. Se divide los casos de uso complejos en casos normales y se emplean extensiones, de esta forma se obtiene un caso normal de una sola interacción y una o varias extensiones como parte de la interacción posteriores.

La relación Uses se emplea cuando existen porciones de comportamientos similares entre una o varios casos de usos, obviando el copiado de la descripción de tales conductas. La diferencia existente entre la relación Extends y Uses, se basa en las intenciones que se tiene. Explicando a mayor detalle, ambas relaciones se basan en comportamientos comunes de varios casos de uso, simplificando en un solo caso de uso común en la cual se puede emplear la relación Extend o Uses para poder interactuar con otros casos de uso.

Para tener claro la idea se debe aplicar estas relaciones acordes a las siguientes reglas:

- Utilice Extend cuando se quiera describir una variación de conducta normal.
- Utilice Uses para repetir cuando se trate de uno o varios casos de uso y desee evitar repeticiones.

Acorde que se vaya realizando los modelados de los diagramas, se puede encontrar con modelos que expresen la forma de cómo hacer los casos de uso, ya sea entre el software o entre algún agente externo, que en casos generales serian algún operador. (Fowler, 2000)

2.5.3. Diagrama de secuencia

En los diagramas de secuencia, los objetos se muestran como cajas ubicadas en la parte superior de una línea punteada, como se muestra en la figura 16.

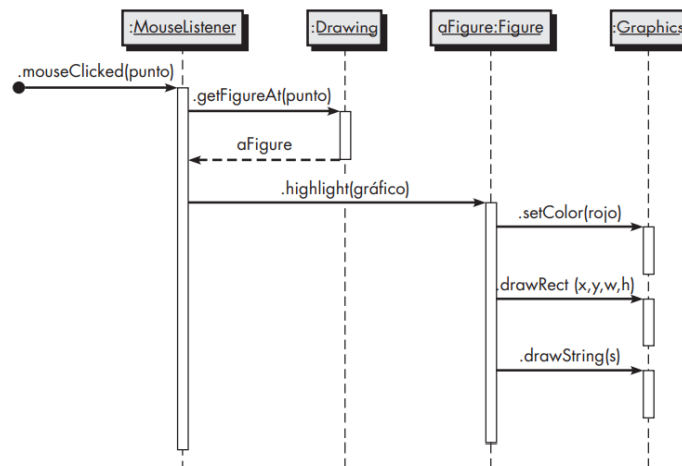


Figura 2. 16. Diagrama de Secuencia
Fuente: (Pressman, 2010)

Las líneas verticales en estos diagramas son llamadas líneas de vida, estas líneas representan la durabilidad de la vida del objeto durante la interacción. Los mensajes son representados mediante una flecha entre las líneas de vida de dos objetos. La forma en que se presentan los mensajes o transcurren, ocurre de arriba hacia abajo, esto es importante establecer bien para definir cualquier proceso. Los mensajes dentro del diagrama son etiquetados con el nombre del mensaje, se pueden incluir los argumentos y alguna información de control, y también se puede mostrar la auto delegación, que consiste que un objeto se envíe un mensaje para el mismo.

Existen dos aspectos importantes al momento de controlar información valiosa. La CONDICIÓN, es aquella que indica cuando se puede enviar un mensaje. El mensaje solo se puede enviar si la condición es verdadera. El

segundo aspecto de control, es el MARCADOR DE INTERACCIÓN, es aquella que muestra si un mensaje se envía muchas veces a varios objetos receptores. La base de la interacción se puede mostrar en corchetes.

Otro aspecto importante para poder comprender en un programa orientado a objetos es lo difícil que puede ser comprender el flujo de control general. Los buenos diseños son, en su mayoría, los que contienen bastante pequeños métodos en diferentes clases, y en ciertos casos resulta demasiado complicado determinar la secuencia global de comportamiento. Estos diagramas también incluyen otro aspecto que se denomina REGRESO, la cual consiste en regresar un mensaje, no es un nuevo mensaje. Pueden regresar diferentes mensajes normales en las líneas que han sido apuntadas.

El fundamento en que se basa estos diagramas en su mayor parte en anotaciones de las notaciones de los gráficos de secuencias de UML, estos emplean de forma concisa los REGRESOS. En su mayoría, al emplear mucho la acción de REGRESO, llegan a saturar el diagrama y tienden a oscurecer el flujo. Por eso, todo los REGRESO, se encuentran de forma implícita dependiendo de cómo es la secuencia de los mensajes. Es recomendable usar los REGRESOS solo si se necesita aumentar la claridad del diagrama. (Fowler, 2000)

2.5.4. Diagramas de estado

Esta técnica de consiste en describir el comportamiento de un sistema. Los objetos particulares en el sistema son descritos por estos diagramas de estado y también pueden describir la forma en que cambian, como los resultados de los eventos que llegan a él. En las técnicas empleadas de orientación de objetos para dibuja los diagramas de estados, se emplea una sola clase, en donde se puede mostrar el comportamiento de un solo objeto durante todo su ciclo de vida. La Figura 17 es un ejemplo de la estructura de un Diagrama de estado.

Para empezar a trazar un diagrama de estado, se parte de un punto inicial en donde se muestra una transición inicial al estado de comprobación.

En este punto se solicita ingresar el primer valor, aquí es donde se puede incluir una etiqueta con el contenido de “obtener primer artículo”

En primera instancia solo se tiene la acción de “obtener primer artículo”. Al cabo de terminar la primera acción se entra a un nuevo estado denominado COMPROBACIÓN. En este siguiente estado se indica a través de una etiqueta la sintaxis “hace/ actividad”. En algún caso en específico la acción a realizar se puede llamar “comprueba artículo”. (Fowler, 2000)

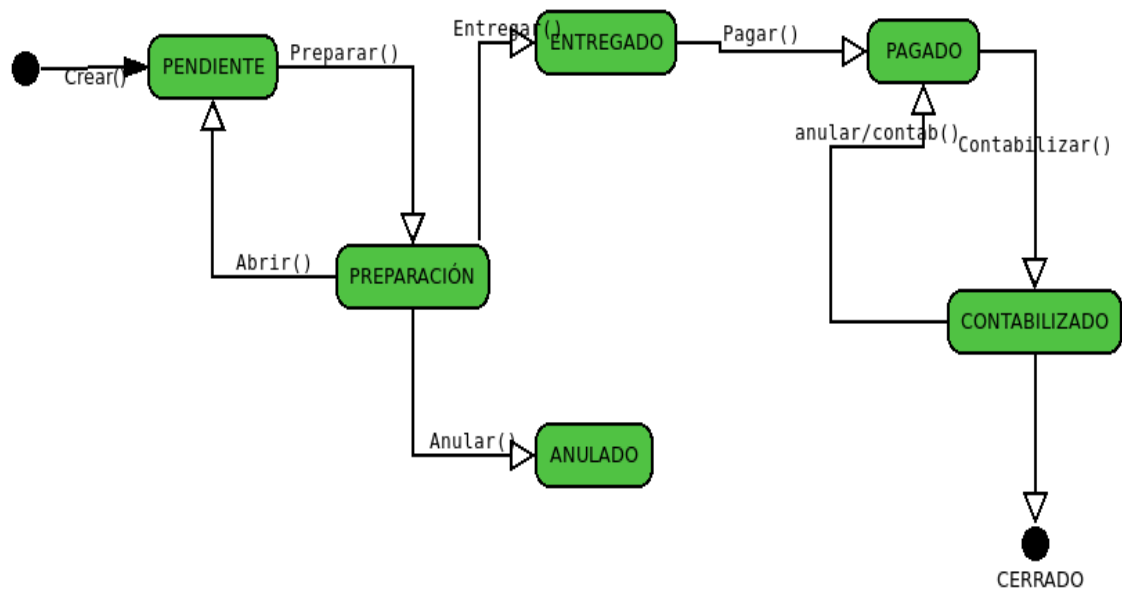


Figura 2. 17. Diagrama de estado.
Fuente: (Carlos ZR, 2018)

2.6 Redes de Petri

Para la implementación de una Red de Petri en la modelación de una clase de aplicaciones, se debe proceder a dotar de una interpretación. Es decir, asociarles una significación física a las condiciones de evolución de la red, así como definir las acciones generadas por dichas evoluciones. De forma esquemática, se puede decir que la red define la estructura de la descripción del sistema y que su interpretación le asocia una semántica.

Los principales campos de aplicación en lo que se puede utilizar redes de Petri son:

- Sistemas legales
- Sistemas operativos y descriptivos de software en general

- Descripción de hardware de computadores y sistemas discretos de control con evoluciones concurrentes
- Sistemas automáticos lógicos
- Lenguajes formales

Las redes de Petri no constituyen el único modelo de descripción de sistemas discretos capaz de modelar las evoluciones paralelas. Al lector se le remite a las referencias donde podrá encontrar información complementaria al respecto.

El funcionamiento de una red sin interpretación alguna se define como autónomo. Una red temporizada y/o interpretada es una red no autónoma. En este último caso la evolución de la red depende también del tiempo y/o de la interpretación asociada.

2.6.1. Conceptos estructurales de redes de Petri Autónomas

En este apartado se va a exponer los conceptos estructurales que están alrededor de las Redes de Petri autónomas, representaciones gráficas, representaciones matriciales y ejemplos de los puntos anteriormente mencionados.

Una red de Petri generalizada es una cuádrupla tal que $R = \langle P, T, \alpha, \beta \rangle$

P es un conjunto finito y no vacío de lugares

T es un conjunto finito y no vacío de transiciones

$P \cap T = \emptyset$; es decir, lugares y transiciones son conjuntos disjuntos

$A: P \times T \rightarrow \mathbb{N}$ es la función de incidencia previa

$B: T \times P \rightarrow \mathbb{N}$ es la función de incidencia posterior

2.6.2. Representación gráfica.

Una Red de Petri se representa gráficamente por un grafo bipartido orientado. Los lugares se representan por circunferencias y las transiciones

por barras. Existe un arco que va del lugar p_i a la transición t_j sii $\alpha(p_i, t_j) \neq 0$. Análogamente, existe un arco que va de la transición t_k al lugar p_i sii $\beta(t_k, p_i) \neq 0$. Cada arco se etiqueta con un entero natural, $\alpha(p, t)$ o $\beta(t, p)$, que se denomina peso del arco. Por convenio, un arco no etiquetado posee un peso unitario. Para facilitar la legibilidad, todo arco cuyo peso sea superior a la unidad se dibuja normalmente con un trazo grueso, o con dos o más trazos paralelos, tal como se ve en la figura 18.

2.6.3. Representación matricial

Una red se representa matricialmente por medio de dos matrices. Sea $|P| = n$ (números de lugares de la red) y sea $|T| = m$ (número de transiciones de la red). Se denomina matriz de incidencia previa la matriz

$$C^- = \tilde{N}[C_{ij}] \text{ n x m}$$

En la que $C_{ij}^- = \alpha(p_i, t_j)$ se denomina matriz de incidencia posterior la matriz

$$C^+ = \tilde{N}[C_{ij}] \text{ n x m}$$

En la que $C_{ij}^+ = \beta(t_j, p_i)$.

En las matrices de incidencias los lugares numeran las filas (i) y las transiciones las columnas (j), y cada elemento (i,j) expresa la incidencia que el lugar i tiene sobre la transición j . En la figura 18 se muestra un ejemplo de una red de Petri convencional más su matriz de incidencia.

Las redes de Petri como modelo de descripción de sistemas lógicos concurrentes

Para que una RdP pueda representar un sistema, hace falta asociarle una interpretación. Interpretar una RdP es establecer un convenio por el cual se define:

- Un significado físico a las condiciones necesarias para el disparo de una transición. Las reglas de evolución son modificadas ligeramente

por la interpretación, la cual pasa a ser también función de la evolución del proceso que desea controlar

- Las acciones generadas por la evolución del mercado

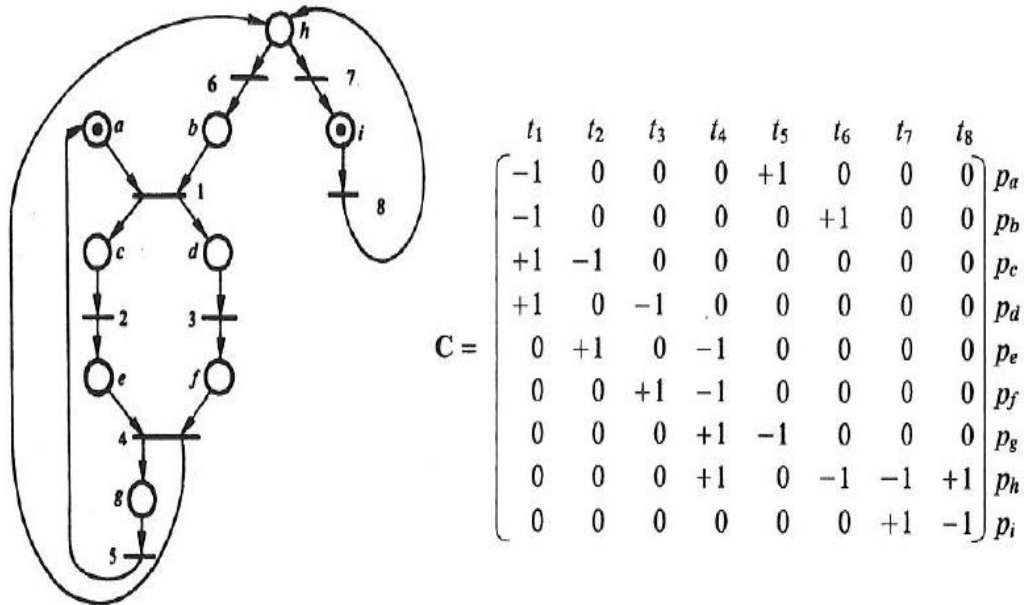


Figura 2. 18. Ejemplo de Diagrama de Petri y Matriz de incidencia.
Fuente: (Silva, 2002.)

El estado interno del sistema se representa siempre por el marcador de la RdP. En lo que concierne a la interpretación de una RdP, se debe señalar que no existe una interpretación posible para describir una clase de aplicaciones. De este modo, para la descripción de sistemas lógicos se encuentra dos grandes grupos, según que las acciones generadas se asocien a los lugares a a las transiciones.

La interpretación que comprende ambos tipos

Sea un sistema con:

- Entradas X
- Salidas a nivel Y
- Salidas impulsiones Z

Una condición externa C_i , es un subconjunto de estado de las variables de entradas. Esta podrá ser representadas siempre por una función combinatoria de las variables de entrada.

Un evento o acontecimiento E_i , se define como el cambio de estado lógico de una condición externa y la unión de un conjunto de eventos.

Ejemplos típicos de modelación con redes de Petri.

Relación productor- consumidor con exclusión mutua

Enunciado. Una unidad de producción UP produce cierta clase de objetos que deposita en un almacén. El almacén tiene una capacidad máxima de $N=4$ objetos. La figura 19 es un ejemplo de un esquema de la instalación y descripción del sistema productor- consumidor.

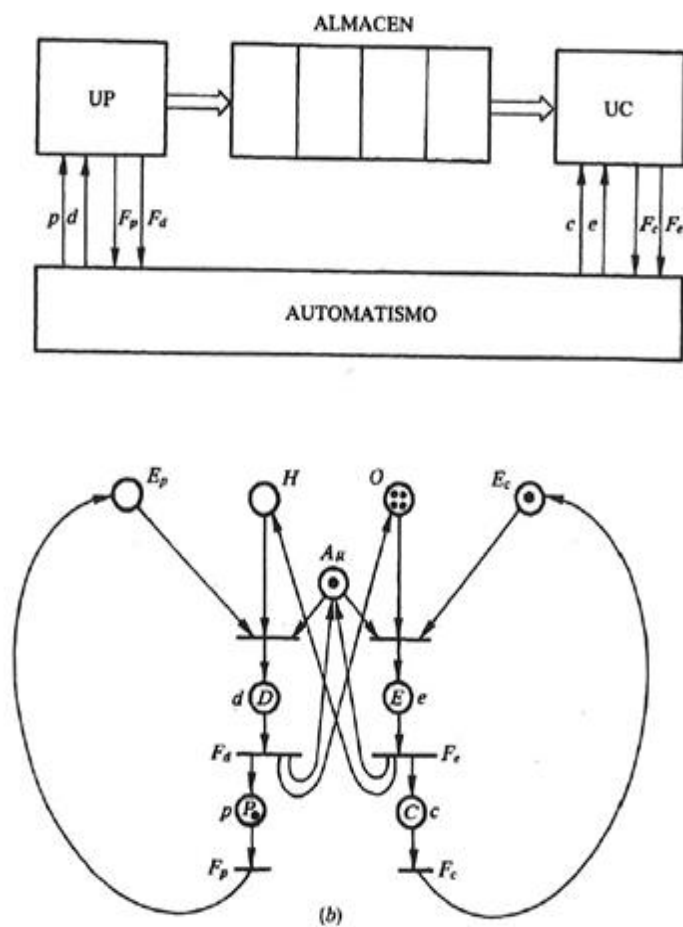


Figura 2. 19. Esquema de la instalación y descripción del sistema productor- consumidor cuando se accede al almacén en exclusión mutua.
Fuente: (Silva, 2002.)

Esquema de la instalación y descripción del sistema productor- consumidor cuando se accede al almacén en exclusión mutua.

Una unidad de consumo UC retira objetos del almacén para su posterior consumo. Se pretende describir un sistema que coordine la

producción y el consumo, es decir, ordene al productor (consumidor) cuando debe producir (consumir) y cuando debe depositar (extraer) un objeto.

Las señales intercambiadas entre el sistema de control y el proceso son las siguientes.

P= orden de producir un objeto

D= orden de depositar un objeto en el almacén

C= orden de consumir un objeto

E= orden de extraer un objeto del almacén

F_p , F_d , F_c y F_e representan el fin de producción, depósito, consumo y extracción de un objeto.

Se supone que al almacén no se puede acceder simultáneamente en depósito y extracción. Es decir, las operaciones de depósito y extracción debe estar en exclusión mutua.

Reutilización de secuencias de funcionamiento (subprogramas)

Todo un conjunto de secuencias representado por una subRdP puede ser utilizado a partir de diversas situaciones. A continuación, se proponen un esquema básico para su modelación. Los lugares p_t y p_j recuerdan el punto de regreso de la secuencia. Si no se ordena la ejecución de una subsecuencia desde dos puntos a la vez $M(p_t)M(p_j) = 0$, el regreso a la secuencia de llamada no será nunca ambiguo.

Dos puntos básicos de esta posibilidad de modelación son:

- Modularidad en la descripción
- Descripción de tamaño más reducido y realizaciones más económicas

La generalización de esta simple idea de reutilización de subsecuencias predefinidas conduce al concepto clásico de subprograma. En un subprograma habría que definir la transferencia de argumentos. En la figura 20 se muestra un ejemplo del uso de subprogramas en redes de Petri. (Manuel Silva, 2002.)

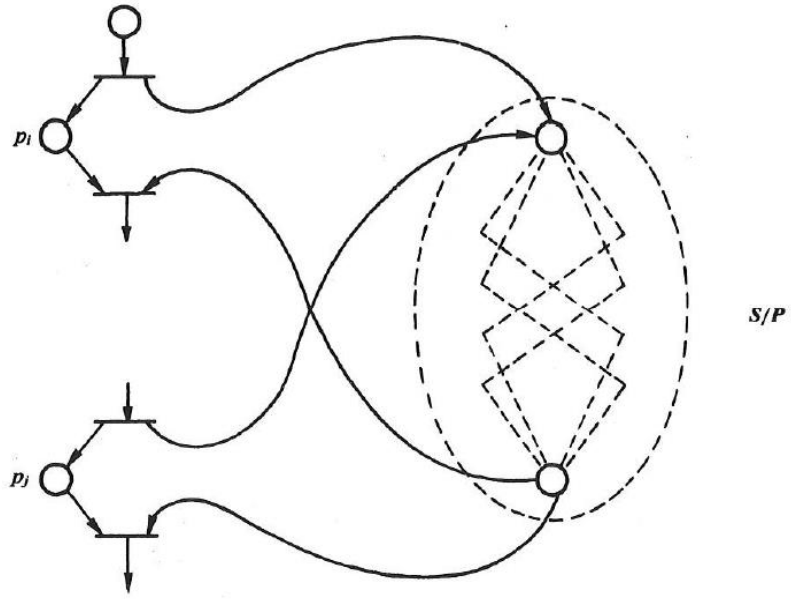


Figura 20. Esquema de utilización de subprogramas
 Fuente: (Manuel Silva, 2002.)

CAPITULO III. DISEÑO DEL SISTEMA SCADA

En esta sección del capítulo, se describirá las especificaciones técnicas y funciones de los equipos a utilizar en el sistema de supervisión. Además, en primera instancia se definirá los diagramas de flujo que serán base para desarrollar el sistema de supervisión propuesto, definiendo las variables a supervisar, controlar y modificar, también se definirá el protocolo de comunicación a emplear para el óptimo funcionamiento del sistema. Finalmente, se realizará simulaciones del sistema para probar su funcionalidad y flexibilidad ante posibles fallos.

3.1. Consideraciones iniciales.

A continuación, se presenta las descripciones, características y funciones de los componentes del sistema, con la finalidad de poder proporcionar un mejor entendimiento y dar una visión general y detallada del mismo. Con estos puntos a abarcar se podrá realizar un análisis del diseño propuesto en este trabajo.

3.1.1. Descripción del sistema

El sistema que se va a diseñar consiste en un proceso de producción para la elaboración de diferentes piezas como: tapas abre fácil, envases metálicos de diferentes dimensiones, acuñado de logos sobre las láminas de acero, y más productos basados en procesos de embutición metálica. La fuerza motriz del proceso es generada mediante una red de aire comprimido, conformado por 2 equipos compresores de aire con potencia nominal de 40 HP, secadores de aire, tanque de almacenamiento, filtros de aire que su funcionalidad es entregar aire de calidad a la red de tuberías, para alimentar prensas y demás máquinas involucradas en el proceso de fabricación, e incluye hasta los servicios de mantenimiento y talleres de metalurgia que se encuentran dentro de la planta.

En esta sección del trabajo se va a centrar en los procesos de embutición metálica, desde la salida de las láminas impresas de los hornos de

producción, la inserción de las láminas en las maquinas embutidoras y el proceso que pasan las láminas para obtener el producto final.

El proceso de embutición metálica, es una técnica empleada para la elaboración de envases metálicos, usando como materia prima planchas de metal con dimensiones de 70x70 cm y con un espesor de 0.5 mm. En la figura 20 se muestra el diagrama de flujo del proceso de embutición metálica, el cual se explica a continuación: Un grupo de 100 unidades de planchas metálicas son ubicadas en un elevador que alimenta la máquina. Una vez que las láminas están en posición estas son elevadas hasta el punto que un brazo neumático empuja las láminas. Las maquinas constan con un tablero eléctrico de control que maneja la velocidad de un motor eléctrico, la banda de entrada de materia prima y la banda de salida del producto terminado. La máquina impulsada por aire comprimido y un motor eléctrico para dar movimiento a la banda transportadora, donde la lámina es empujada dentro de la máquina. Las láminas son ubicadas y fijadas con anillos de sujeción dentro de la máquina; se enciende el punzón, que es movido por aire comprimido, desciende y empuja la lámina, hasta 5 veces avanzando y retrocediendo mientras la lámina es conformada, lo que le da forma a la materia prima y se obtiene el producto final con el diseño deseado. Finalmente, las láminas de desecho, son expulsadas a un lado de la máquina y depositadas en un contenedor para su posterior desecho o reciclaje. El producto final cae sobre una rampa que está conectado a una banda que transporta el producto al proceso de empaquetado. En la figura 1 se describe el diagrama de flujo del proceso de embutición metálica.

3.1.2. Caracterización del sistema

En esta parte del trabajo se hablará sobre las características técnicas de los equipos a utilizar en el sistema de supervisión, también se hablará sobre el protocolo de comunicación a emplear para la conectividad interna entre el PLC y las tarjetas de entradas y salidas, tanto analógicas como digitales, los sensores que se van a emplear para realizar las mediciones de las variables físicas.

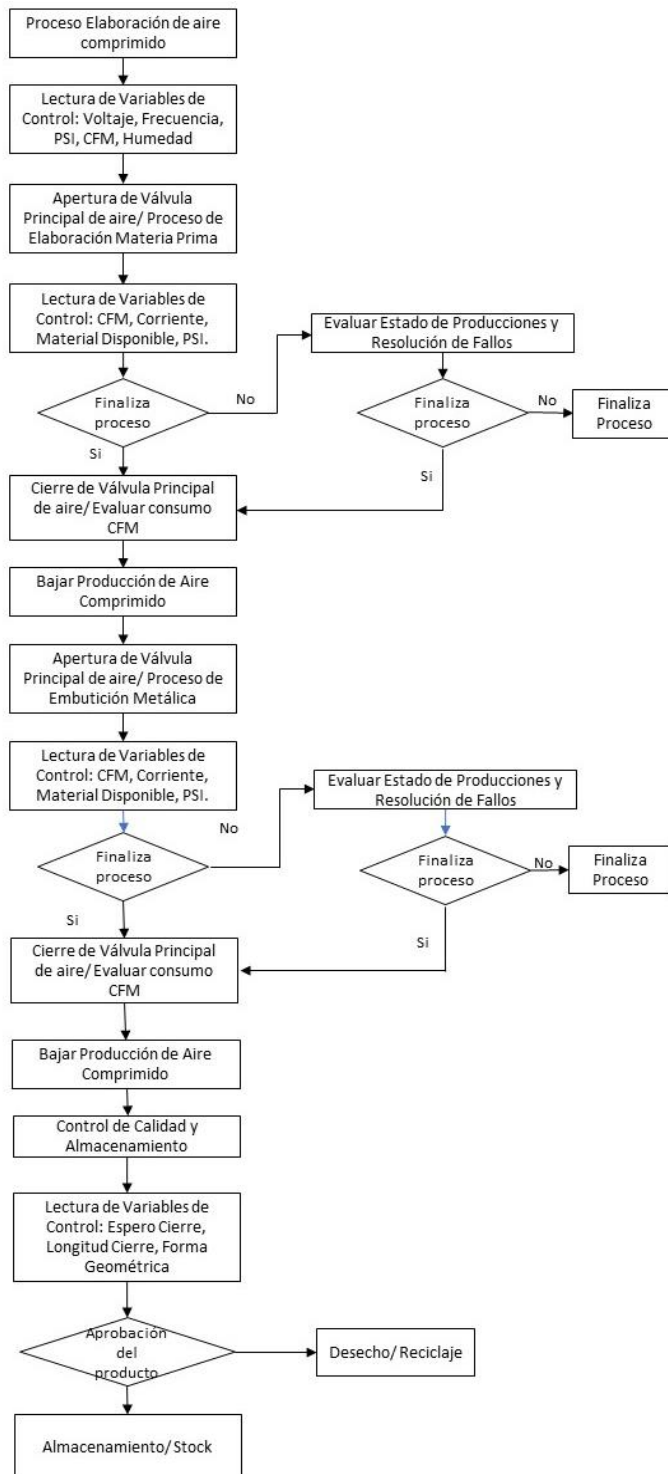


Figura 3. 1. Diagrama de Flujo del proceso de embutición metálica
Fuente: El autor.

Para la configuración de los equipos de control se usa el programa RSLogic 5000, es una herramienta amigable usada para programar los Controladores Logix (Controllogix, Compactlogix, Softlogix y Drivelogix). Este programa permite el desarrollo de aplicaciones, reduce el tiempo de puesta en marcha de un proyecto.

- i. PLC 1769-L30ERM: Controlador lógico programable, utilizado para cargar el programa de supervisión, para captar las mediciones de los sensores, supervisa el consumo de aire y regula la presión del aire dentro del sistema de aire comprimido.
- ii. Motor trifásico 3SIE132M2A: motor trifásico para el control del movimiento de la banda transportadora ubicada al final del proceso de embutición metálica.
- iii. Ingresoll Rand- (IR Nirvana 100 HP): equipo generador de aire comprimido, usado para alimentar el sistema de aire comprimido.
- iv. Bandas de transporte: estructura metálica hecha para la transportación del producto final salido de proceso de embutición metálica.
- v. Transformador de corriente: equipo usado para la medición de corriente en las líneas de fuerza de los equipos eléctricos, tales como equipo generador de aire comprimido, motor de la banda transportadora.
- vi. Anemómetro PCE-HVAC 2: para la medición del consumo del aire comprimido de las maquinas medido en CFM.
- vii. MTH500S Sensor de humedad y temperatura: para la medición de temperatura y humedad dentro de las tuberías de aire comprimido del sistema.
- viii. Tarjeta de entrada análoga 1734IE4C: En este dispositivo se colocan los sensores analógicos del sistema, hasta un máximo de 4 sensores por tarjeta.
- ix. Tarjeta de salida análoga 1734-OE4C: En este dispositivo se colocan actuadores analógicos del sistema, hasta un máximo de 4 sensores por tarjeta.
- x. HMI PANEL VIEW 700 12" (2711R-T7T): pantalla táctil de 12", se utiliza para mostrar información, estados y funciones del sistema.
- xi. Módulo de comunicación N-TRON 708-TX: switch para conexión ethernet, en este dispositivo se conectarán los dispositivos de control, para el pase de información de un área a otra.
- xii. Módulo de poder 24VDC 1734-EP24DC: fuente de poder que alimenta las tarjetas de entradas y salidas, tanto analógicas como digitales dentro del sistema.

3.1.3. Funciones del sistema

El sistema de supervisión contará con las siguientes funciones:

i. Funciones principales:

- Monitoreo de las condiciones físicas del sistema (temperatura, humedad, PSI, CFM, capacidad del tanque de almacenamiento, consumo del sistema en tiempo real)
- Regulación de la producción de aire comprimido, acorde a las necesidades del sistema en tiempo real, estableciendo una relación consumo/ energía.
- Toma de decisiones en tiempo real en relación con la información recolectada por los sensores que se encuentran dentro del sistema.

ii. Funciones secundarias

- Registro de las horas de trabajo de los equipos generadores de aire para predecir los mantenimientos del sistema.
- Detección de fugas de aire del sistema en la red de aire comprimido.
- Generación de alarmas producidas en las maquinas del proceso

3.2. Arquitectura del sistema de embutición metálica

Para el control del sistema de producción de embutición metálica emplea 2 controladores PLC, para la comunicación y control de la instrumentación se trabaja sobre señales eléctricas entre 4- 20mA, para el control del compresor de aire, motor eléctrico y bandas transportadoras se emplea una comunicación ProfiBus FMS, haciendo el uso de este modelo de comunicación se busca que los nodos del sistema se comporten iguales entre sí, actuando de manera simultánea tanto esclavos como maestros con respecto a lo demás nodos de la red. Este tipo de red se cómo conexión punto a punto, teniendo un soporte hasta 126 nodos la cual cualquier nodo puede ser esclavo.

El sistema de control y supervisión consta de las siguientes partes:

- Proceso de generación de aire comprimido.
- Proceso de producción de materia prima.

- Preparación, calibración de máquinas de producción y Proceso de elaboración de envases metálicos.
- Control de calidad y proceso de empaque del producto final.

El sistema de control busca mejorar el desempeño productivo, regulando los consumos energéticos y consumos de aire comprimido en cada proceso, prolongar la vida útil de los equipos generadores de aire, los equipos de producción de materia prima y los equipos de embutición metálica. En la figura 2 se visualiza el diagrama de bloque del sistema de producción de envases metálicos.

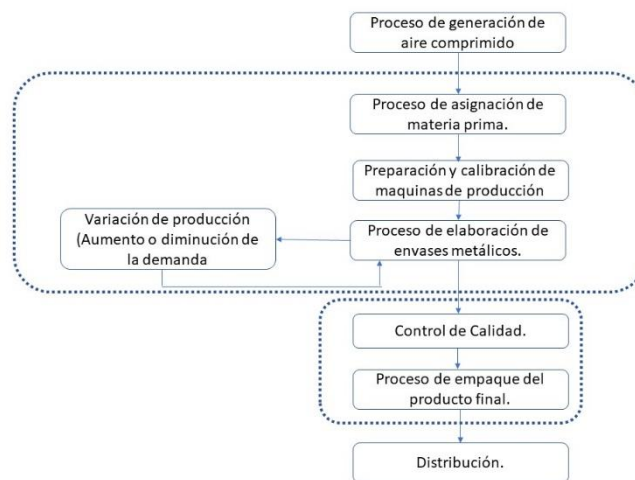


Figura 3. 2. Diagrama de Bloque del sistema.
Fuente: El Autor.

3.2.1. Arquitectura de control de automatización.

La arquitectura de control que se considera a usar en este trabajo, es una arquitectura descentralizada, debido a destaca por el sistema POINT I/O que se va a emplear, ofrece una topología lineal y da respaldo de solución ante fallos entre nodos. Permite la facilidad de envió de información de los controladores a los diferentes actuadores que existen en el sistema, sin olvidar la información crucial que los sensores aportan al sistema. En la figura 3 se muestra la arquitectura de control propuesto para el trabajo, la cual dispone de tres niveles de control, el primer nivel o Nivel de Supervisión, se ubican las pantallas HMI y el ordenado donde llegara, se mostrara y se guardara (en el caso de la PC) toda la información procesada del sistema, el segundo nivel o nivel de control, en esa sección se realizaran todas las operaciones de control

del sistema y en el tercer nivel o nivel de campo, se encuentran los sensores y actuadores de7l sistema.

El sistema de supervisión debe de poder interactuar directamente con la planta de producción a través de sus controladores lógicos programables, estos deben de mantener una interconectividad estable y constantes debido a las propiedades que ofrecen la conexión ProfiBus, aparte de poder interpretar las diferentes señales eléctricas proveniente de los sensores y señales digitales que provengan de los diferentes actuadores ubicados dentro de la planta. También debe de mantener un control apropiado sobre las diferentes variables dentro del sistema, gracias al constante monitoreo que debe de mantener sobres las mismas. El modelo de PLC utilizado en este trabajo poseen interfaces digitales y analógicas que le permite interactuar con diferentes componentes externo en el sistema.

3.2.2. Arquitectura de comunicaciones

La topología de la red y la organización de los componentes del sistema se presentan en la figura 4. La arquitectura presenta dos PLC con diferentes tipos de sensores: temperatura, humedad, CFM, etc. Los PLC monitorizan un área de interés específica realizando la fusión de datos, la detección de características y el almacenamiento temporal de datos en una memoria interna.

La comunicación de los diferentes componentes del sistema se organiza con una topología tipo estrella, donde el dispositivo de control (Autómatas o HMI) es el nodo central. La arquitectura de comunicación se organiza deforma jerárquica, debido a su arquitectura de control, y consiste en un sistema de control en el que un conjunto de dispositivos y software de administración organizado en un árbol jerárquico. Las ventajas que ofrecen este tipo de arquitectura es la capacidad de mantenimiento, debido al seguimiento físico de las redes, facilita el aislamiento y encontrar fuentes de problemas. Facilidad de administración, cada capa en la red cumple con funciones específicas, es fácil poder realizar modificaciones. Una de las desventajas de este tipo de arquitectura de comunicación que cuando se cae un enlace se desconectan varios componentes. (Macias et al., 2018)

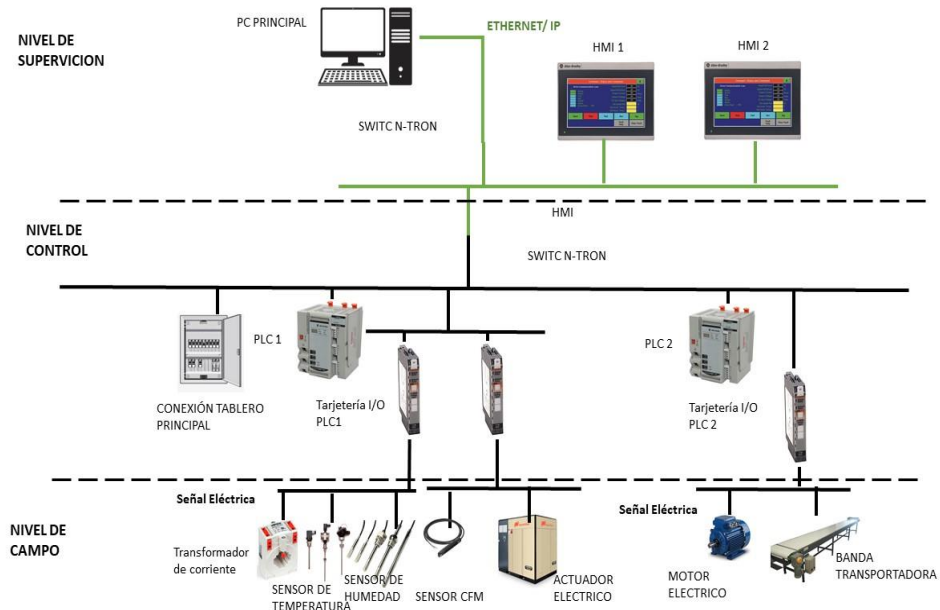


Figura 3. 3. Arquitectura de Control de Automatización
Fuente: El Autor

En el primer nivel se encuentran el ordenador la cual recibirá, guardará información y se podrá hacer modificaciones sistema de producción, en el mismo nivel se encuentra las pantallas HMI que proyecta la información del sistema y se podrá realizar modificaciones del sistema, también se podrá visualizar alarmas e historial del sistema. Constará de interfaces que puedan proporcionar puntos de acceso a los diferentes servicios que cada nivel o capa proporciona. En la figura 4 se muestra las conexiones de los dispositivos.

En el segundo nivel de la arquitectura se encuentra el nivel de control, la cual se encuentra conectadas los procesadores del sistema, procesaran la información captada por el nivel de campo y lo mostrara en las pantallas HMI, en esta sección se efectuará el control de consumo del sistema y buscara reducir los consumos de energía en momentos que la planta no requiera una producción alta de aire. En el tercer nivel de la arquitectura se encuentra el nivel de campo, en este nivel se encuentra los actuadores y sensores del sistema. Los sensores interactúan con el medio físico y proporciona información que será usada por los PLC.

3.2.3. Arquitectura del sistema SCADA

La implementación de un sistema SCADA dentro de una planta de embutición metálica ofrece la facilidad al operador de poder proporcionar información del consumo de aire y energía que las diferentes secciones de la planta están consumiendo en horas de producción, procesar dicha información y realizar cambios y cumplir con el objetivo de reducir los consumos de aire en momentos que la planta se encuentra en producción baja y finalmente poder guardar esta información. El operador debe tener la facilidad de navegación entre las distintas pantallas de control que ofrece el sistema y no debe de presentar incongruencias al momento de controlar las funciones de producción de la planta.

El sistema SCADA debe de contar con una arquitectura abierta, tener la flexibilidad de adaptarse las necesidades emergentes de la planta y tener la capacidad de poder admitir nuevos equipos al sistema de control. Debe de mantener una comunicación con total facilidad y proporcionar al usuario una forma sencilla de poder visualizar en una pantalla HMI los procesos de producción de la planta, desde el proceso de generación de aire comprimido hasta el proceso de control de calidad, permitiendo un visualizar un ahorro de energía en cada proceso, contando con una interfaz amable con el operador.

3.2.3.1. Estructura del sistema SCADA

Los puntos a considerar dentro del diseño del sistema SCADA tendrá en consideración varios puntos de diseño que permita la facilidad al operador de poder visualizar los datos de consumo, producción y otros datos de alta importancia y poder marcar una diferencia entre ellos. Se tiene en consideración los siguientes puntos:

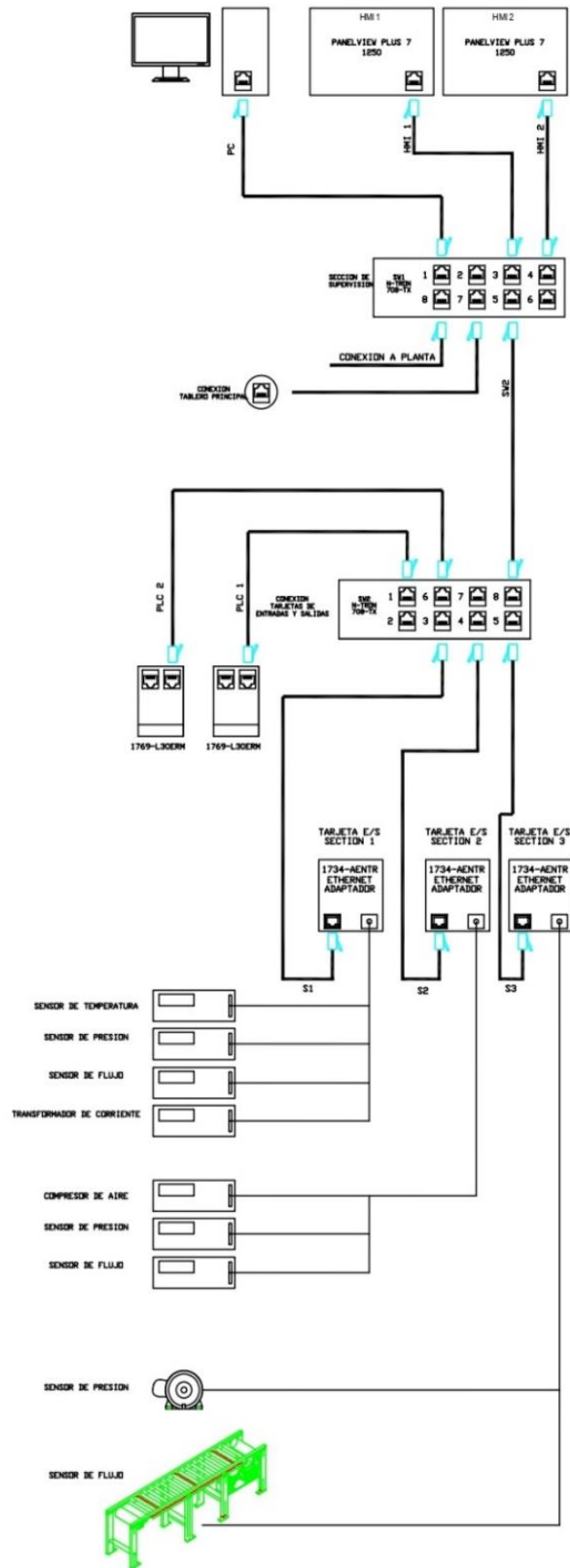


Figura 3. 4. Topología y organización de equipos de control
Fuente: El Autor.

- i. La pantalla debe de mostrar los estados en tiempo real de cada uno de los procesos que conforman el sistema.
- ii. El sistema SCADA debe de poder controlar, procesar, almacenar y mostrar las diferentes variables de cada proceso, de esta forma garantiza un buen funcionamiento del sistema.
- iii. La información procesada debe de poder visualizarse en cada terminal HMI del sistema, sin fenómenos de destellos u otras formas de inestabilidad. Debe de visualizarse los estados de los equipos, consumos actuales, demanda procesada y material disponible.
- iv. El usuario debe poder ajustar fácilmente los parámetros del sistema y adaptarse a las condiciones del entorno. Debe de contar con acceso rápido a la instrumentación de campo como equipos de generación de aire, motores eléctricos, bandas transportadoras, etc.

3.2.3.2. Organización en el diseño de pantalla del sistema SCADA.

El sistema SCADA, figura 5, está estructurado de las siguientes secciones:

- i. Operador/ Supervisor: Se envía solicitudes al sistema que influyen en las operaciones de producción, y se supervisa las actividades del sistema de producción en todas sus etapas.
- ii. Visualización/ Control: Se muestra la información procesada por el sistema SCADA, se realizan control de las actividades del sistema de producción en todas sus etapas.
- iii. SCADA: Se efectúa todas las actividades de automatización de los procesos de generación de aire, proceso de elaboración de materia prima, proceso de embutición metálica. Alarmas e Historial, se muestran las fallas del sistema y genera un historial de las alarmas resueltas en todo el tiempo de operación.
- iv. Sistema: se encuentran los actuadores del sistema, motores eléctricos, bandas transportadoras y sensores que convierten las señales físicas en pulsos eléctricos.

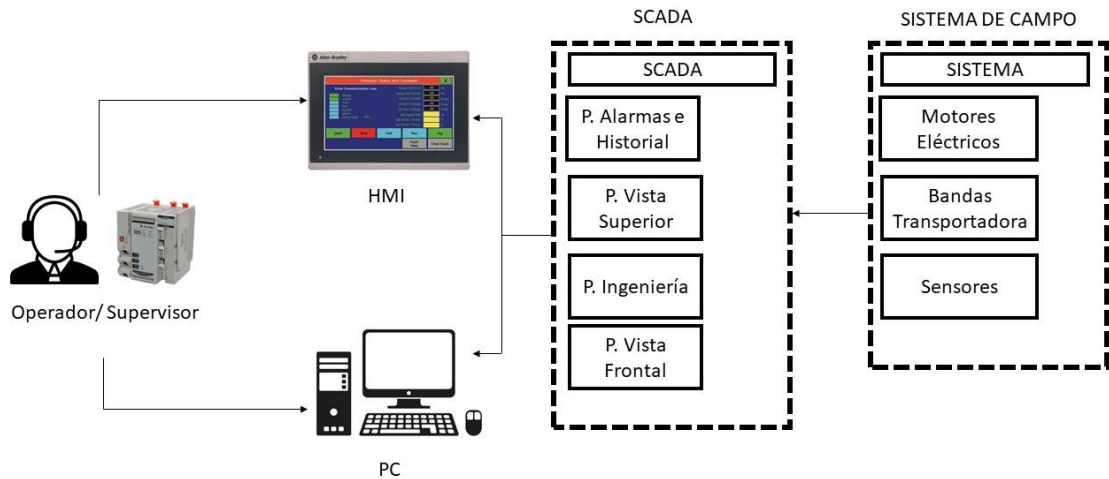


Figura 3. 5. Organización del Sistema SCADA
Fuente: El Autor.

A continuación, se detallan las funciones y detalles que contiene cada pantalla dentro del sistema de control.

- i. Pantalla de Producción. En esta pantalla se muestra la demanda de producción solicitada planta.
- ii. Pantalla de Vista Superior. En esta pantalla se encuentra los botones de arranque general del todo el sistema, se visualiza estado de equipos, consumo eléctrico, frecuencia, voltaje, de manera general del sistema, horas de trabajo.
- iii. Pantalla Vista Frontal. En esta pantalla se encuentra los valores de las variables del sistema, tales como Humedad, Temperatura, Presión (PSI), flujo de aire (CFM), máquinas de proceso de embutición operando, del todo el sistema de aire comprimido. En este apartado se muestra la relación energética vs producción de aire comprimido del sistema. Se efectuará la regulación de los equipos de generadores de aire comprimido y la capacidad de almacenaje de los tanques del sistema.
- iv. Pantalla de ingeniería. En esta pantalla se verifica el estado de las máquinas de producción, se ubican controles manuales, calibración de equipos, horas de trabajo de las mismas, próximo mantenimiento, etc.
- v. Pantalla de alarmas e historial. En esta pantalla se sub divide en alarmas activas, histórico de alarmas y estado de alarmas. En esta

sección se visualizará los próximos mantenimientos correctivos y preventivos de todos los actuadores del sistema.

En la figura 6 se muestra la organización de las pantallas dentro del sistema SCADA.

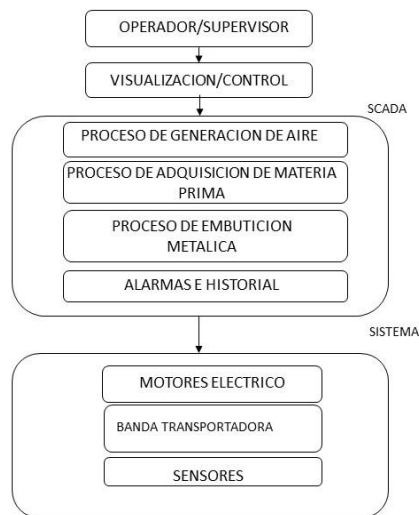


Figura 3. 6. Arquitectura del sistema SCADA
Fuente: El Autor.

3.3. Análisis general del sistema de control de automatización.

En la figura 7 se muestra el proceso de producción de los envases metálicos, desde la generación de aire comprimido que requieren cada máquina, hasta la gestión de almacenamiento y transporte del producto terminado. Para poder entender mejor el sistema de producción de envases metálicos, se ha sub dividido el sistema en 4 subprocesos, la cual permitirá una mejor comprensión y análisis del sistema en cada una de sus partes, se enlistan a continuación:

- i. Proceso de generación de aire
- ii. Proceso de elaboración de materia prima
- iii. Proceso de embutición metálica
- iv. Control de Calidad y Almacenamiento.



Figura 3. 7. Proceso general de elaboración de envases metálicos
Fuente: El Autor.

En la siguiente sección se detalla cada uno de los procesos enlistados que el PLC debe supervisar y controlar.

3.3.1. Proceso de generación de aire

El proceso para generar aire comprimido apto para el consumo dentro de una industria de producción, comprende de 4 equipos esenciales que son: compresor de aire con capacidad máxima de Flujo de aire 438 CFM, a una presión de 120 PSI máximo, potencia de 100 HP, trabajando a una tensión de 440V, secador de aire con capacidad máxima de Flujo de aire de 193 CFM, a una presión de operación máxima de 188 PSI y a una temperatura de operación de secado 80°C máximo, un tanque de almacenamiento de 10 000 m3 de capacidad máxima de almacenamiento y el filtro de aire que filtra las partículas mayores a 0.1un, y que combinados componen un sistema de aire comprimido que cumple con los estándares de calidad para consumo en producción. En la figura 8 se muestra las etapas para obtener el aire comprimido.

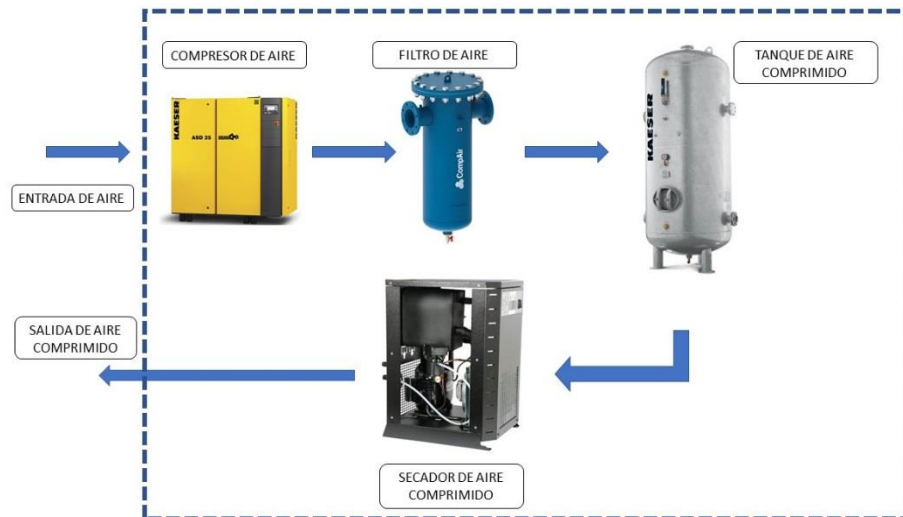


Figura 3. 8. Proceso de producción de aire comprimido
Fuente: El Autor.

A continuación, se explica el proceso a ejecutar para producir aire comprimido, el PLC controla los tiempos de operación compresor de aire. El PLC realiza operaciones de lectura en las líneas de voltaje que alimentan al compresor, el voltaje de alimentación debe ser igual a 440V a una frecuencia de 60Hz, si detecta anomalías en la medición de estos parámetros, el PLC envía un mensaje de FALLO a la pantalla, detiene el proceso hasta que el problema sea resuelto y continua, un sensor de presión envía información al de la presión actual del compresor al PLC. El PLC debe de mantener una presión (PSI) igual a 120, si los PSI no son igual a 120, se regula a 120 y se continua con el proceso, este valor no debe de cambiar en ninguna etapa de producción, a través de un anemómetro realiza la medición del flujo actual, el flujo de aire (CFM) varia de acuerdo a la demanda requerida de la planta acorde a tiempos de operación de los procesos posteriores a el de generación de aire, teniendo un máximo de 9.36 m³/min. En la etapa de filtrado de aire un sensor ambiental evalúa la presencia de partículas presenten en el aire, filtra las partículas mayores a 0.1un y envía el aire al tanque de almacenamiento hasta llenar su capacidad máxima de 10000m³, una vez lleno el tanque, el PLC enciende el secador de aire y a través de un sensor de humedad, el secador extrae el 90% de la humedad del aire. Una vez terminado el proceso de secado de aire, se realiza la apertura de la válvula principal que conecta a la red de aire de la planta. En la figura 9 se detalla el diagrama de flujo del sistema.

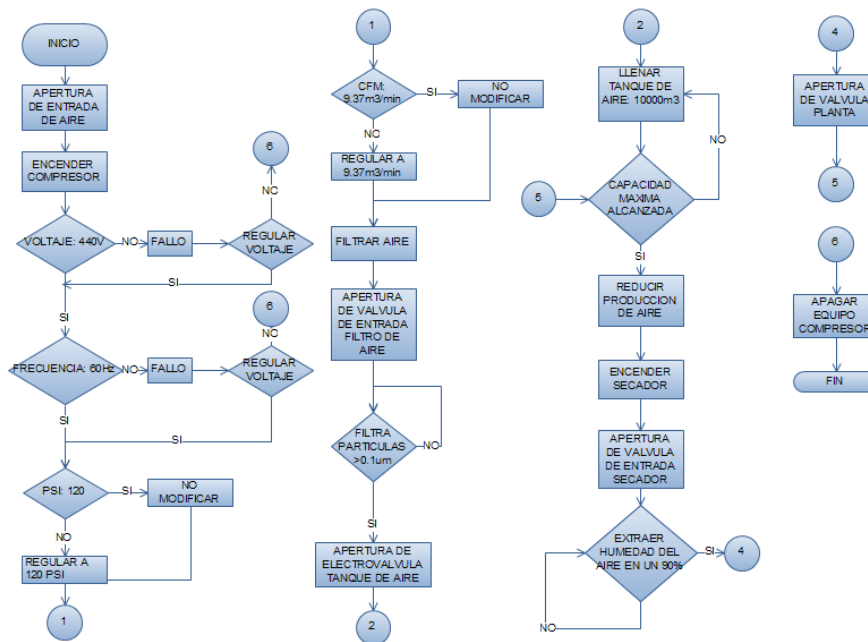


Figura 3. 9. Diagrama de Flujo- Proceso de elaboración de aire comprimido
Fuente: El Autor.

3.3.2. Proceso de elaboración de materia prima.

Para el proceso de elaboración de las planchas de aluminio demandadas por las líneas de producción de envases metálicos, consta de 4 etapas para su elaboración. En la figura 10 se detalla el proceso de elaboración de planchas de metal.

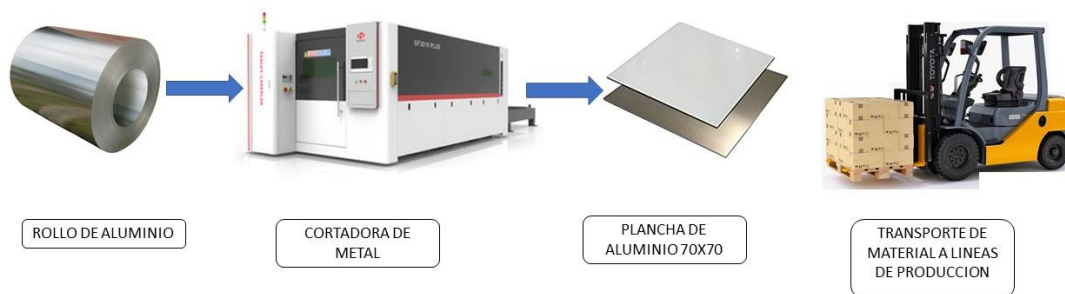


Figura 3. 10. Proceso de elaboración de planchas de metal
Fuente: El Autor.

Para el proceso de elaboración de materia prima un sensor de proximidad inductiva detecta la presencia de material metálico en la entrada de la maquina cortadora, el PLC realiza la lectura de la señal enviada por el sensor e inicia el proceso de elaboración de materia prima con el encendido de la maquina cortadora, en la pantalla del HMI el operador ingresa el tipo de material que se va a procesar, si es metal o si es aluminio. Una vez ingresado

el tipo de material, el PLC realiza la apertura de la válvula de aire que alimenta la máquina para realizar el proceso de corte. El operador ingresa la distancia de calibración de corte según el material, (aluminio 110 mm/ metal 90 mm), el tiempo de operación de la maquina es definido por el PLC que es de 60 minutos y se inicia el proceso de corte del material. Un final de carrea ubicado en la salida de la maquina cortada, realiza el conteo de las planchas salientes del sistema y son ubicadas sobre un pallet. El PLC compara el valor contado con la demanda ingresada por el operador, si se cumple el proceso finaliza, sino cumple el PLC realiza la lectura del sensor inductivo si aun hay material disponible y continua con el trabajo por otros 60 minutos más, hasta cumplir con la demanda solicitada. Una vez completado el proceso de producción, el PLC manda una orden de bajar la producción de aire comprimido a la sala de compresores y el cierre de la válvula de aire del proceso de corte. En la figura 11 se detalla el diagrama de flujo del proceso de elaboración de planchas metálicas.

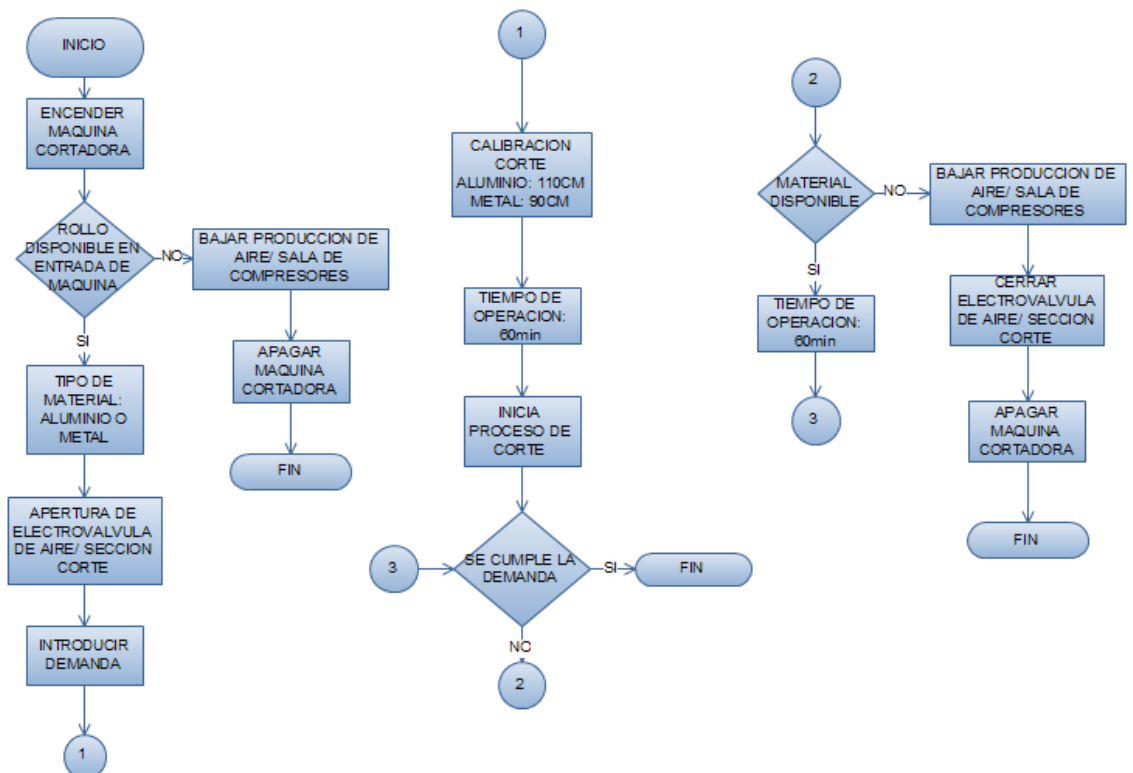


Figura 3. 11. Diagrama de flujo- Proceso de elaboración de materia prima.
Fuente: El Autor.

3.3.3. Proceso de embutición metálica.

En la figura 12 se detalla el proceso de embutición metálica desde todas sus etapas

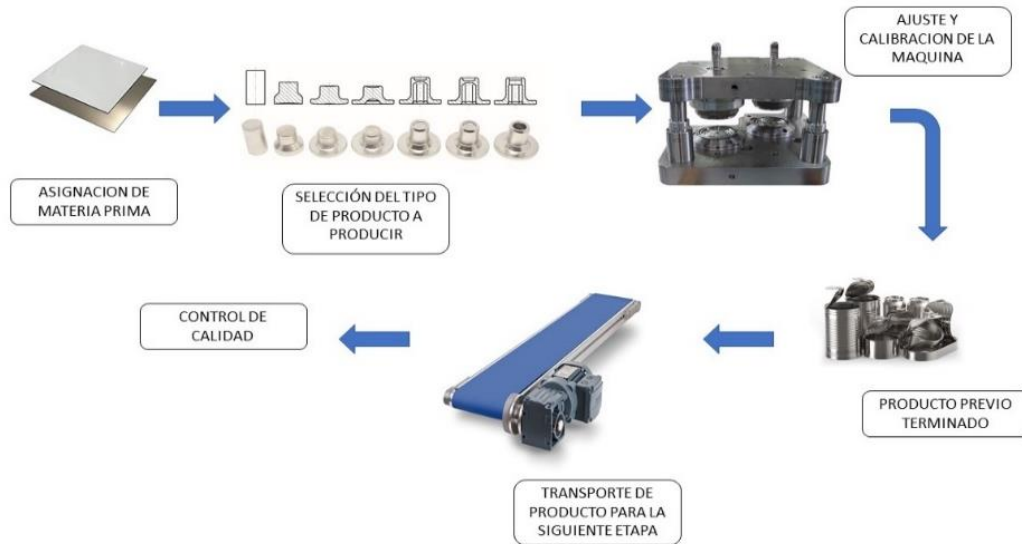


Figura 3. 12. Proceso de elaboración de envases metálicos
Fuente: El Autor.

A continuación, se explica el proceso a seguir para la elaboración de envases metálicos:

Se selecciona el tipo de material a emplear para la elaboración de los envases metálicos, si se usará plancha de aluminio o metal. Este criterio es seleccionado acorde a la solicitud del cliente. Se selecciona el tipo de punzón a utilizar para definir la forma del envase a elaborar. Si el envase a elaborar es cilíndrico, rectangular (prisma con base rectangular), tipo sardina (prisma recto, pero con base elipsoidal), tipo estuche. Este proceso se realiza de forma manual por el operador mientras la máquina este apagada. El PLC mediante un sensor de presencia, detecta la pieza colocada e inicia el proceso de embutición realizando el encendido de la máquina. El operador ingresa la demanda solicitada y el PLC evalúa si existe material presente en la entrada de la máquina mediante un sensor de proximidad inductiva, sino existe material en la entrada de la máquina, el PLC solicita que se provea material, sino se no provee material en un tiempo determinado, envía una falla al operador y finaliza el proceso. Una vez evaluada la existencia de material, el PLC realiza la apertura de la válvula de aire, enciende la banda transportadora

y el PLC define el tiempo de operación en 60 minutos e inicia el proceso de embutición. Al final de proceso se encuentra un final de carrea que realiza el conteo del producto saliente. El PLC compara la información enviada por el sensor con la demanda ingresada por el operador, si se cumple la demanda el PLC apaga el sistema, sino cumple el PLC verifica material disponible y la maquina opera 60 minutos más, hasta cumplir la demanda ingresada por el operador. En la figura 13 se muestra el diagrama de flujo para la elaboración de envases metálicos.

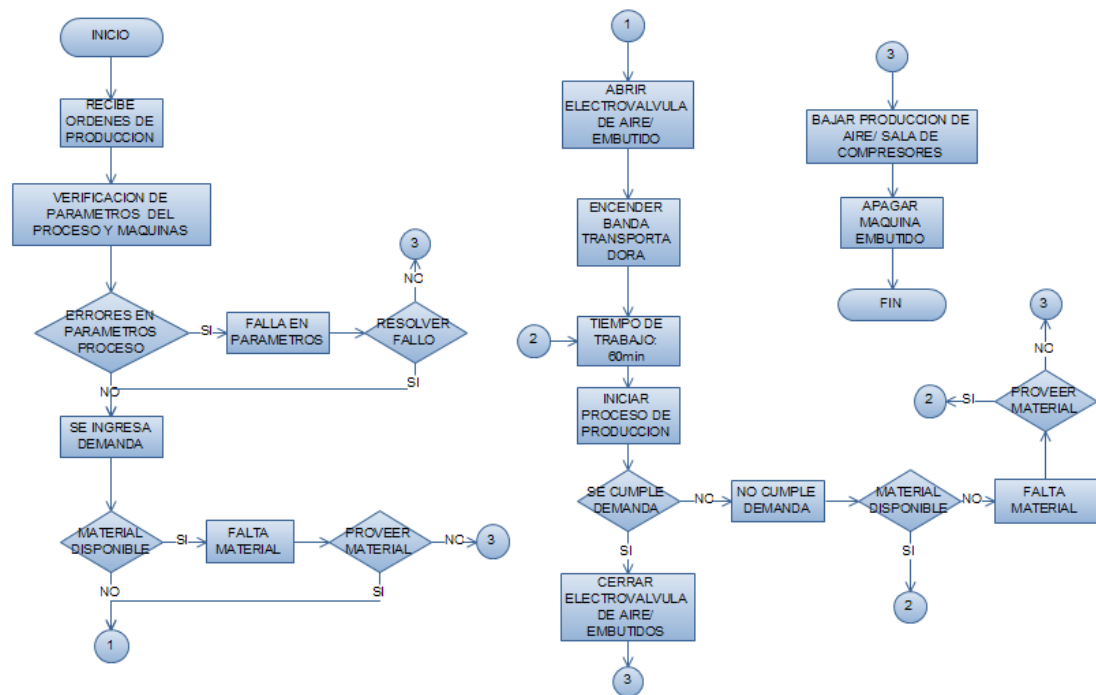


Figura 3. 13. Diagrama de flujo- Proceso de embutición metálica.
Fuente: El Autor.

3.3.4. Control de Calidad y Almacenamiento.

En la figura 14 se detalla el proceso de control de calidad y almacenamiento. Previo a la última etapa de fabricación de los envases metálicos, se realiza una evaluación del producto denominado control de calidad, consiste en someter el producto a una serie de medidas ya impuestas por planta para la aprobación del mismo antes del almacenamiento y distribución. Por medio de una cámara de visión artificial, el PLC evalúa los envases salientes del proceso de embutición si existe material residual dentro de los envases, si existe alguna deformidad de los envases. El espesor y

longitud de cierre se realiza de forma al azar por el PLC y realiza si el envase cumple con un el siguiente parámetro:

- i. Espesor de cierre, debe encontrarse entre 0.051- 0.058 pulgadas
- ii. Longitud de cierre, debe encontrarse entre 0.115- 0.124 pulgadas

Estos valores son estándares para cualquier tipo de envase metálico a evaluar.

Dependiendo del tipo de envase el PLC por medio de la cámara de visión artificial evalúa las dimensiones y geometría del producto terminado que son:

- i. Envase circular pequeño: 52x74 (mm)
- ii. Envase circular mediana: 52x89 (mm)

Cumpliendo estos parámetros, el envase aprueba el control de calidad y están listo para su almacenamiento y distribución. Como se muestra en la figura 15.

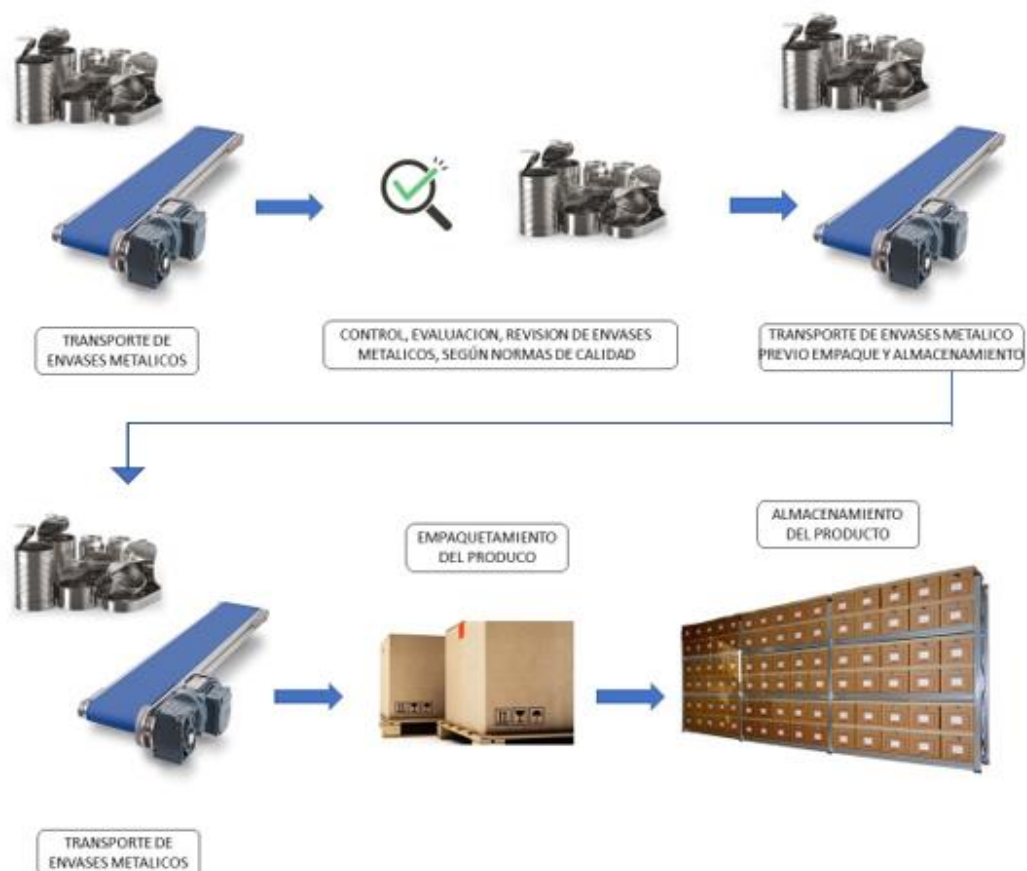


Figura 3. 14. Control de calidad y Almacenamiento
Fuente: El Autor

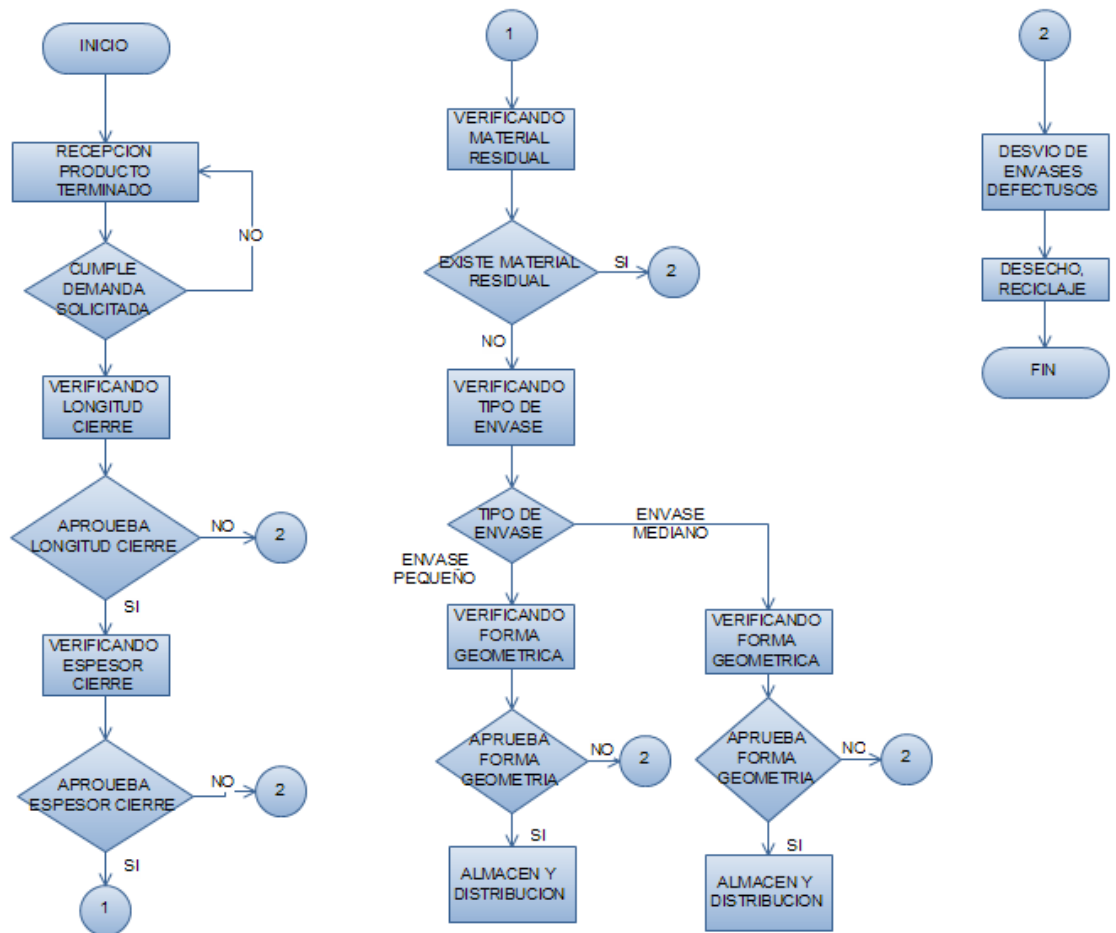


Figura 3. 15. Diagrama de flujo- Control de calidad y Almacenamiento
Fuente: El Autor

3.4. Modelado en UML

Para el modelado del sistema de control y automatización se va requerir la utilización del Lenguaje de Modelado Unificado, UML. Permitiendo representar las acciones, funciones y vistas del sistema, haciendo una representación de la perspectiva desde el punto de vista del operador y del sistema de control final. Esta herramienta ayudara a comprender mejor los comportamientos y relaciones que tienen las variables a controlar con los procesos de producción.

3.4.1. Diagramas de casos de uso

Para el modelado del sistema de control de los procesos de Generación de aire, el proceso de elaboración de materia prima, Proceso de Embutición metálica y Control de Calidad y almacenamiento, se analizará los siguientes casos de uso:

i. *Proceso de generación de aire.*

Para el proceso de generación de aire comprimido, va a contar con dos actores principales los cuales son: el primer actor es el sistema de control y el segundo actor es el operador. El proceso de producción de aire comprimido cuenta con dos modos de operación: Modo manual, es controlado directamente por el operador y el modo automático que es controlador por el segundo actor, que es el PLC.

Las funciones que realiza el operador, dependen en su totalidad de la experiencia y criterios del mismo, teniendo como base su experiencia en el manejo de las operaciones, el sistema de control puede realizar el encendido del equipo compresor de aire, las aperturas de las válvulas en cada etapa de la producción, regulación y modificación de PSI, regulación y modificación de CFM, modificación de Frecuencia, así como se muestra en la figura 16.

El sistema de control es el encargado del control y procesamiento de las variables involucradas del proceso.

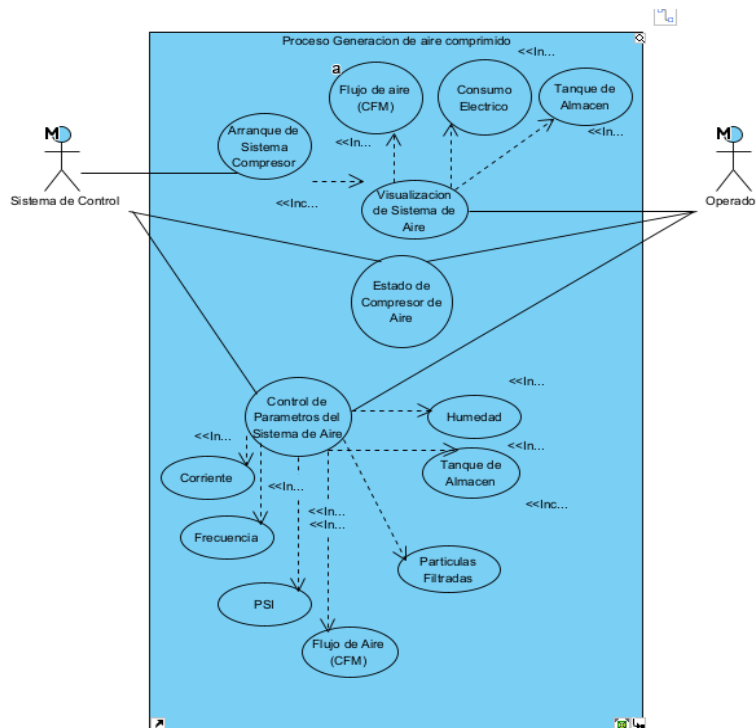


Figura 3. 16. Diagrama Caso de Uso- Proceso de generación de aire
Fuente: El Autor

ii. *Proceso de elaboración de materia prima*

Para el proceso de elaboración de materia prima, va a contar con dos actores principales los cuales son: el primer actor es el sistema de control y el segundo actor es el operador.

El operador en este proceso tiene la facilidad de poder opera de forma manual los tiempos de operación de la máquina, añadir material a la máquina para aumentar el producto final a obtener al final del proceso y tener control manual de la válvula de aire que alimenta la máquina para sus operaciones.

El sistema de control cuenta con la principal función de arranque de la maquina cortadora, y esta a su vez controla los parámetros de la máquina, así como se muestra en la figura 17.

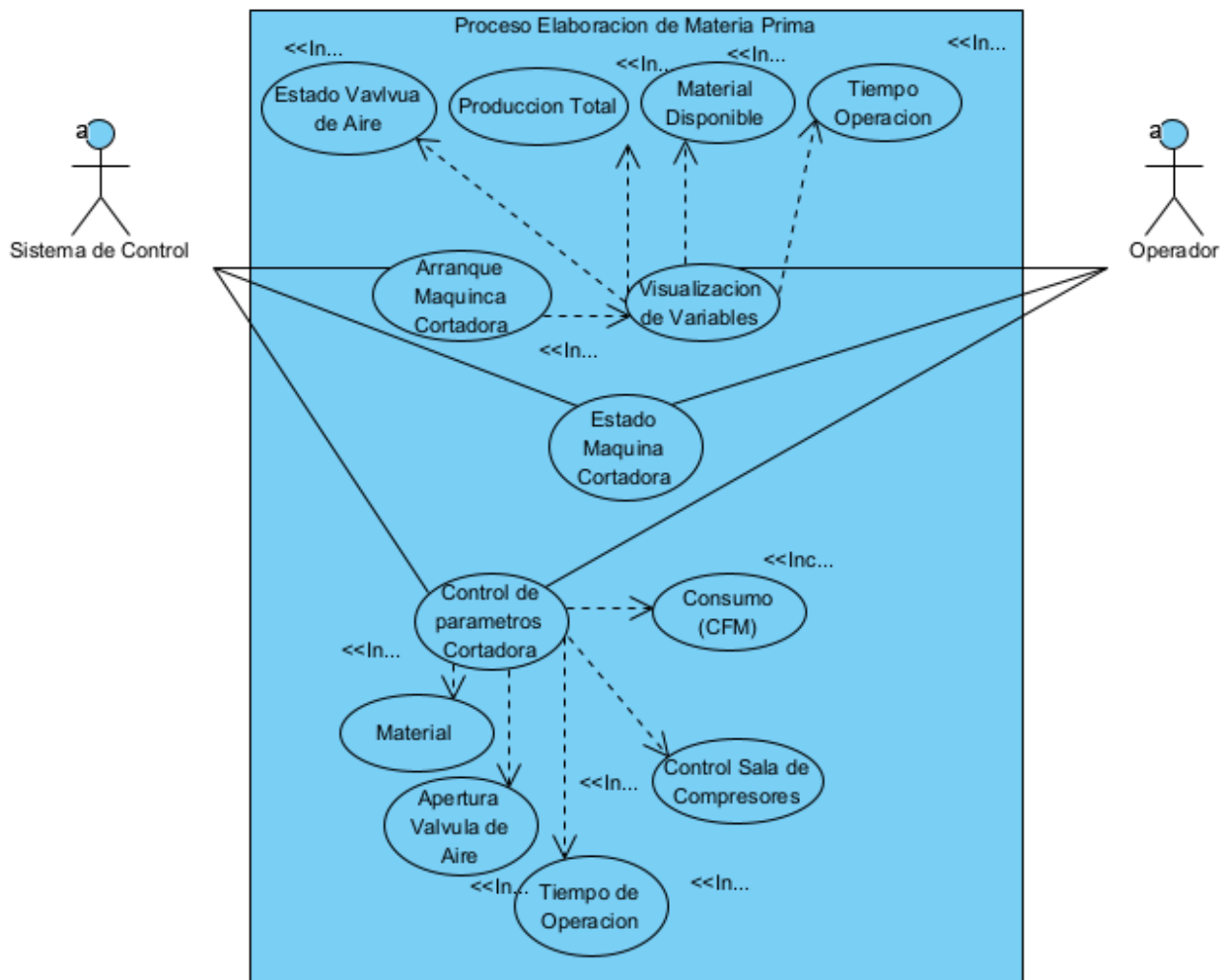


Figura 3. 17. Diagrama Caso de Uso- Proceso de elaboración de materia prima.
Fuente: El Autor

iii. *Proceso de embutición metálica*

Para el proceso de embutición metálica, va a contar con dos actores principales los cuales son: el primer actor es el sistema de control y el segundo actor es el operador.

El operador en este proceso tiene la facilidad de poder opera de forma manual más funciones en relación a tiempo de productividad, molde a utilizar para la producción de envases metálicos, cantidad de material, apertura y cierre de la válvula de aire y los accionamientos y desconexión de la banda transportadora.

El sistema de control cuenta con la principal función de arranque de la maquina embudidora, que consiste en el encendido de la máquina y la apertura de la válvula de aire al momento de producir los envases metálicos, como se muestra en la figura 18.

Adicional a eso, en este proceso el sistema de control y el operador pueden visualizar los tiempos de operación de la máquina, consumo de aire en CFM, consumo de corriente, producción total y estado de la válvula de aire.

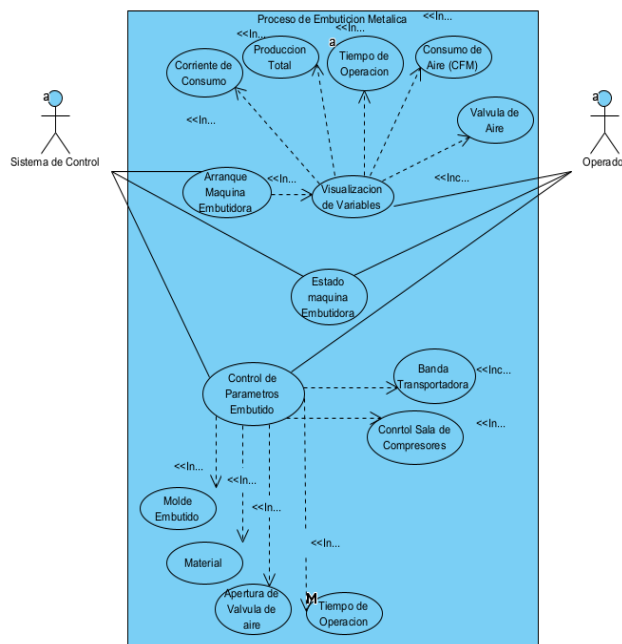


Figura 3. 18. Diagrama Caso de Uso- Proceso de Embutición metálica
Fuente: El Autor

iv. *Control de Calidad y Almacenamiento*

Para el proceso de embutición metálica, va a contar con dos actores principales los cuales son: el primer actor es el sistema de control y el segundo actor es el operador.

El operador en este proceso tiene la facilidad de poder opera de forma manual los parámetros de control de calidad de los envases elaborados en el proceso anterior, haciendo una evaluación del producto en base a la experiencia laboral adquirida en el trabajo.

El sistema de control cuenta con la principal función de procesar el producto, realizar evaluaciones para determinar la calidad del lote producido, minimizando el tiempo de evaluación y proyectando una cifra de producto final más rápido que procesos convencionales.

El operador y el sistema de control pueden visualizar el tiempo de operación total del proceso y ver la cantidad de producto aprobado próximo a almacenar, como se muestra en la figura 19.

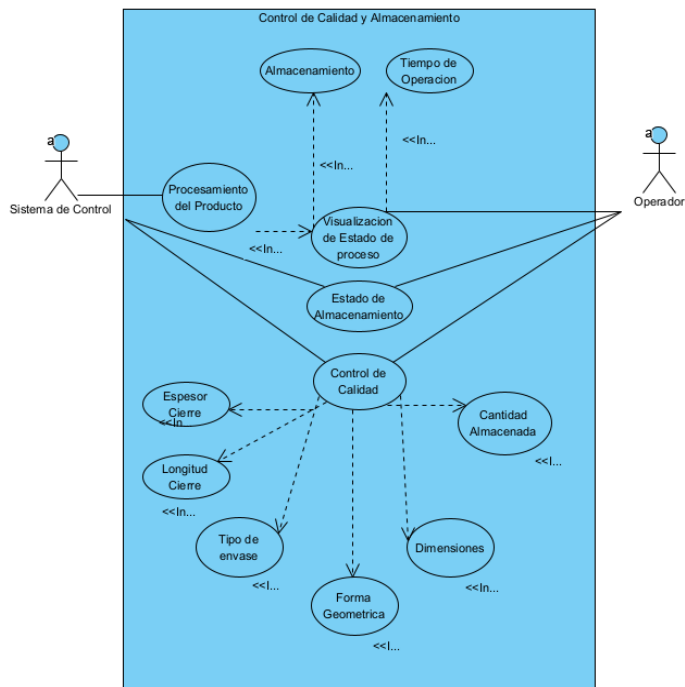


Figura 3. 19. Diagrama Caso de Uso- Proceso de elaboración de materia prima.
Fuente: El Autor

3.4.2. Diagrama de secuencia.

La herramienta de diagramas de secuencia ayuda a entender las relaciones que tienen los objetos involucrados en el sistema y el operador.

i. Proceso de generación de aire

Este modelado cuenta con dos actores, como se explicó en la sección anterior. El proceso de generación de aire cuenta con dos actores, el primero que es el sistema de control y el segundo actor, es el operador. El sistema de control se encarga de la lectura y el procesamiento de las señales del sistema que son: Frecuencia del equipo generador, Corriente de consumo, PSI (presión), Flujo de aire (CFM) y la capacidad del Tanque de aire. Este debe de mantener la frecuencia del equipo constante, al igual que la presión, estos valores deben de mantenerse constante, el flujo de aire (CFM) se deberá mantener en la producción mínima recomendada y solo deberá cambiar acorde a las necesidades de producción de la planta, de esta forma se reduce el flujo de corriente. El operador tiene funciones limitadas, pudiendo regular ciertos parámetros del sistema y solo tener lectura de señal de otros parámetros, como se muestra en la figura 20.

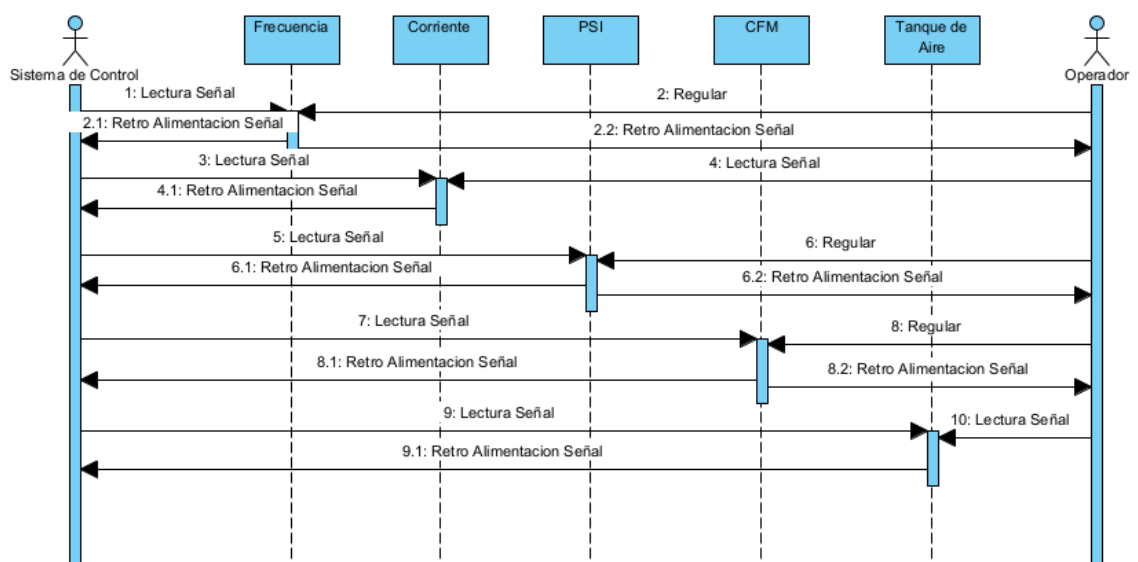


Figura 3. 20. Diagrama de Secuencia- Generación de aire comprimido
Fuente: El Autor

ii. *Proceso de elaboración de materia prima*

El proceso de elaboración de materia prima cuenta con dos actores, el primero que es el sistema de control y el segundo actor, es el operador. El sistema de control se encarga de la lectura y el procesamiento de las señales del sistema que son: tipo de material a procesar, el estado de la válvula de aire, cantidad de material a procesar, tiempo de operación y la longitud de corte configurado acorde al tipo de material a procesar. El operador puede realizar modificaciones de manera manual, proveer de material acorde a la necesidad inmediata, así como se indica en la figura 21.

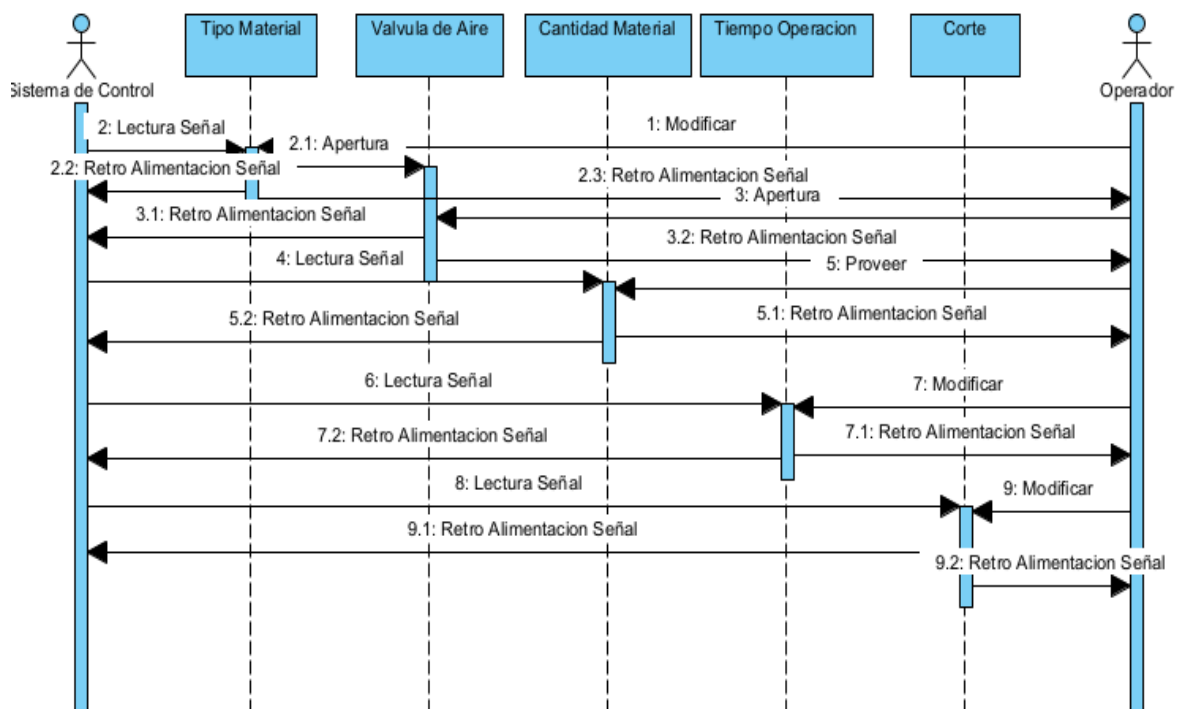


Figura 3. 21. Diagrama de Secuencia- Elaboración de materia prima.
Fuente: El Autor

iii. *Proceso de embutición metálica*

El proceso de embutición metálica cuenta con dos actores, el primero que es el sistema de control y el segundo actor, es el operador. El sistema de control se encarga de la lectura y el procesamiento de las señales del sistema que son: Molde de Embutición a utilizar, este

implica el tipo de envase metálico a realizar, material disponible, control de la válvula de aire, tiempo de trabajo y el accionamiento de la banda transportadora. El sistema de control verifica el estado de material disponible durante la producción y el tiempo de trabajo estimado para así poder tener un control de la apertura y cierre de la válvula de aire, de esta forma reduciendo el flujo de aire de la maquina en momento que no se encuentre produciendo.

El operador puede realizar modificaciones de forma manual como cambiar el molde de embutición, adicionar o quitar material, tener control de la apertura y cierre de la válvula de aire, modificar el tiempo de trabajo, acorde a las necesidades del operador, así como se muestra en la figura 22.

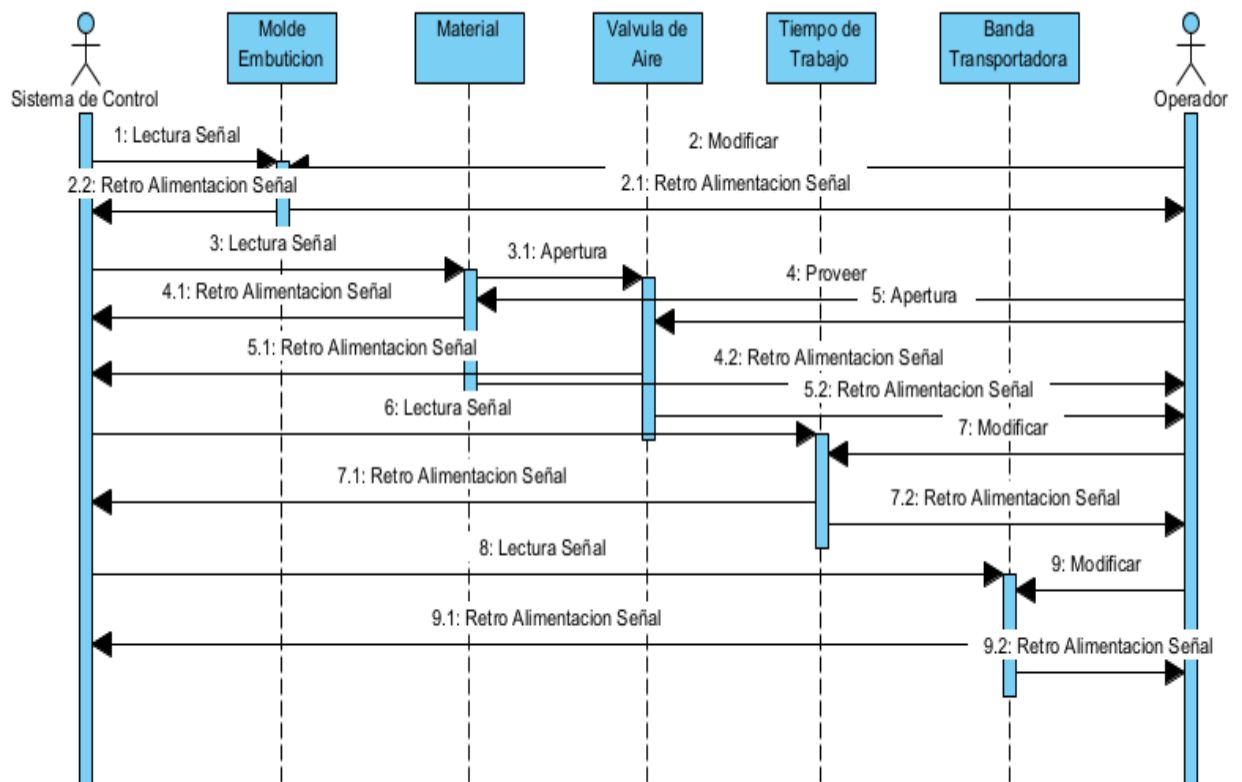


Figura 3. 22. Diagrama de Secuencia- Proceso de Embutición Metálica.
Fuente: El Autor

iv. *Control de Calidad y Almacenamiento*

El proceso de Control de Calidad y Almacenamiento cuenta con dos actores, el primero que es el sistema de control y el segundo actor, es el operador. El sistema de control se encarga de la lectura y el procesamiento de las señales del sistema que son: espesor de cierre, longitud de cierre, peso drenado, espacio libre neto, superposición y almacén. El sistema de control realiza evaluaciones de calidad al lote de envases producido, teniendo una mayor exactitud de los datos obtenidos de las pruebas realizadas, separando del lote los envases metálicos que no cumplan con los requisitos establecidos en el sistema.

El operador puede realizar pruebas de calidad de forma manual, teniendo como base de dato la experiencia del trabajo, así como se muestra en la figura 23.

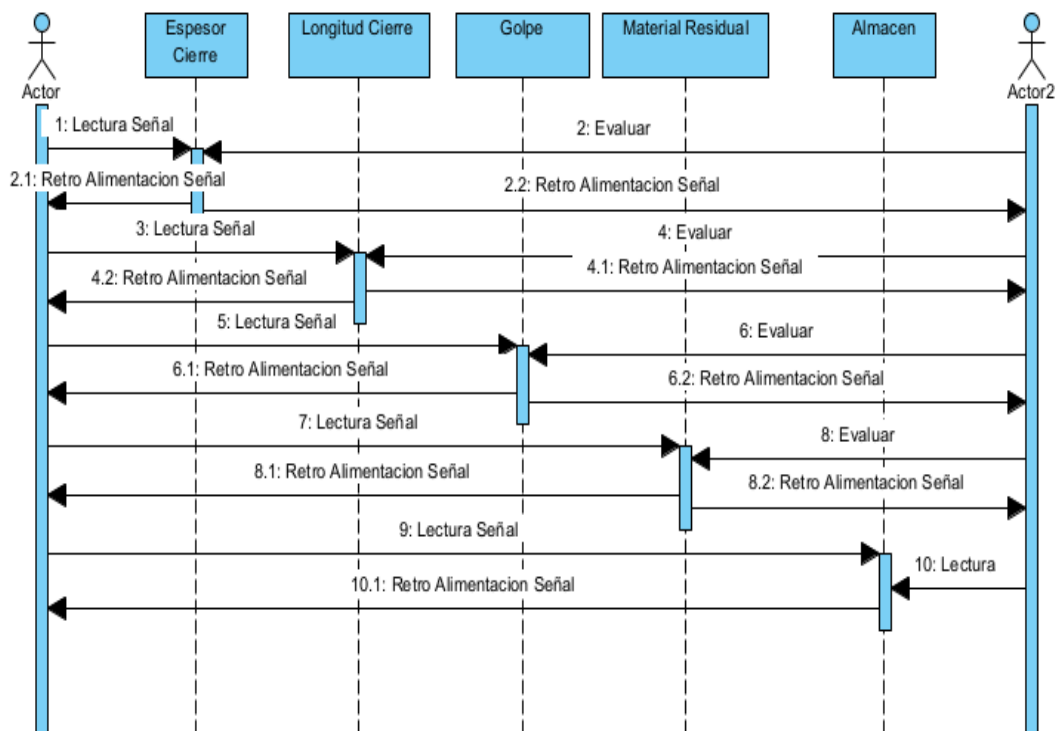


Figura 3. 23. Diagrama de Secuencia- Control de Calidad y Almacenamiento
Fuente: El Autor

3.4.3. Diagrama de estado.

El uso de los diagramas de estado proporciona una mejor visión acerca de los pasos que se ejecutan en cada proceso a analizar, ayudan a identificar los procesos de tramitación de datos, funciones y objetos dentro del sistema.

A continuación, se detalla y se explica los diagramas de estado de los procesos que integran el sistema de producción.

i. *Proceso de generación de aire*

Para el proceso de generación de aire empieza con el análisis de las variables de voltaje y frecuencia, siendo estos de gran importancia, si presentan algún fallo el sistema lo intenta resolver y devuelve la señal resuelta para poder continuar el proceso.

Una vez transitado estas dos variables, se define los valores de PSI y CFM del sistema, estos valores se deberán mantener constante durante todo el proceso de producción. Los siguientes estados corresponden a los procesos de filtrado de aire, almacenamiento del aire en un tanque y secado de aire, así como se indica en la figura 24.

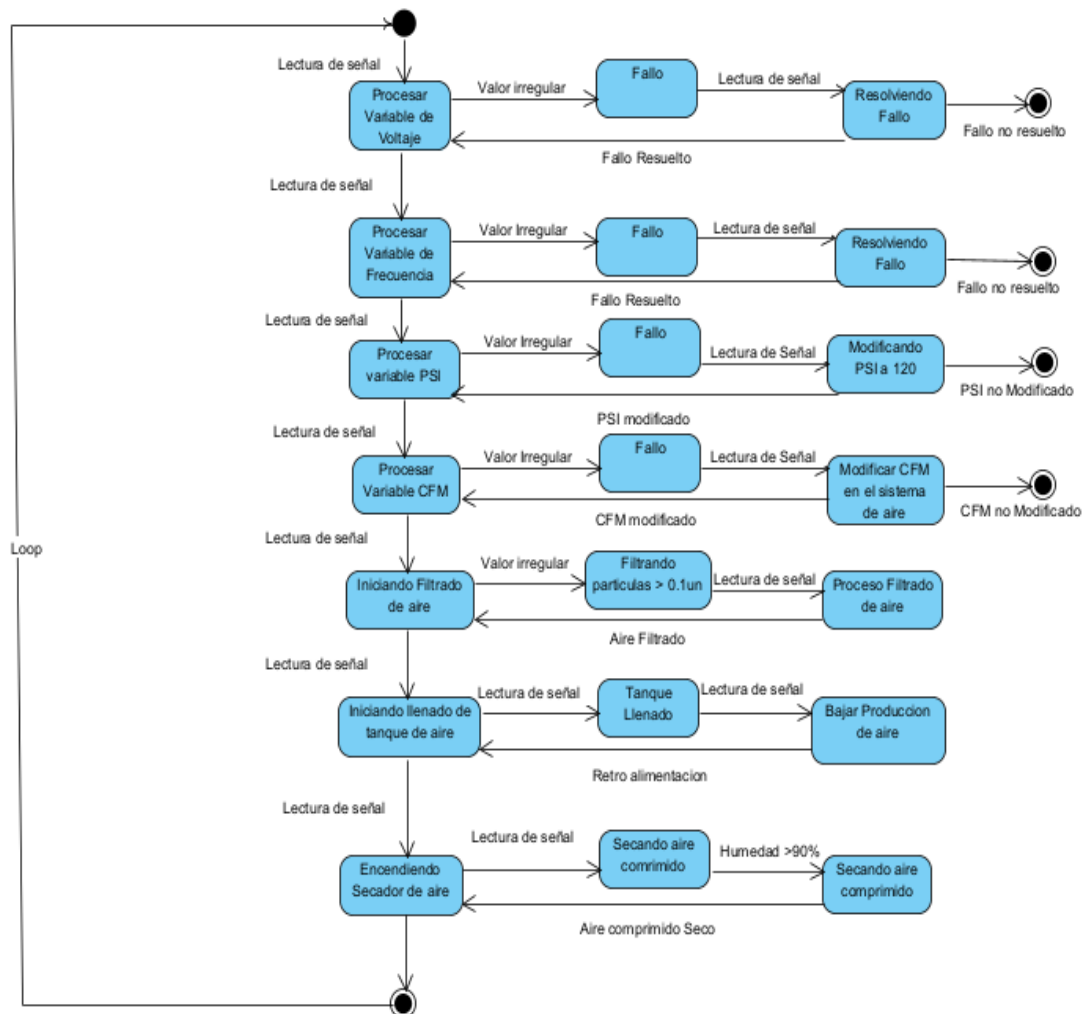


Figura 3. 24. Diagrama de Estado- Proceso de elaboración de aire comprimido.

Fuente: El Autor

ii. *Proceso de elaboración de materia prima*

Para el proceso de elaboración de materia prima, se analiza como primer paso la disponibilidad del material en el proceso, una vez confirmado el material, se prosigue en la apertura de la válvula de aire correspondiente al proceso en cuestión, se mantiene un constante monitoreo del estado de la válvula.

Se define la demanda a procesar, se define el tiempo de operación, se define la distancia de corte a realizar (depende del tipo de material). Una vez ya definido y procesado los estados, se inicializa el proceso, una vez que termine el tiempo de operación, se cierra la válvula de aire y se repite el proceso. Se muestra el proceso en la figura 25.

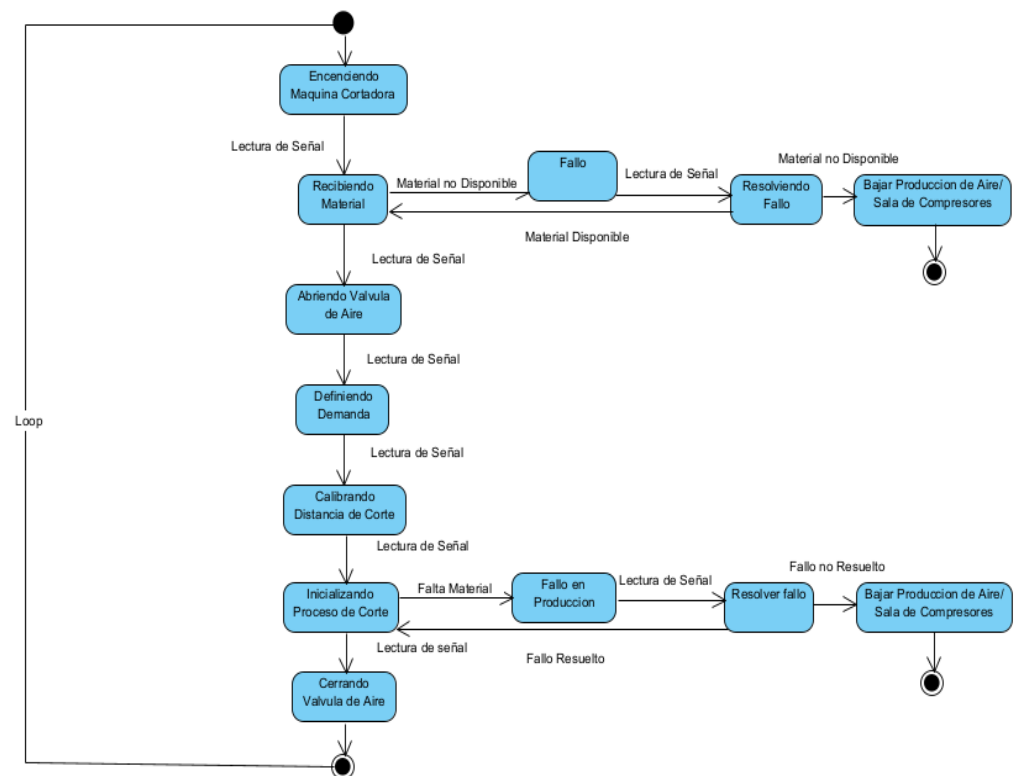


Figura 3. 25. Diagrama de Estado- Proceso de elaboración materia prima.
Fuente: El Autor

iii. *Proceso de embutición metálica*

Para el proceso de embutición metálica, se analiza como primer estado el molde a emplear en el proceso, en este estado se define la forma del producto a elaborar. Una vez transitada este estado, se realiza la apertura de la válvula de aire correspondiente al proceso, se ingresa los valores de la demanda de producción, se enciende la banda transportadora y previo a iniciar el proceso de embutición, se verifica el estado del material, sino existe material disponible en el proceso. El tiempo de producción estimado es de 60 min, una vez terminado este tiempo se cierra la válvula y se repite el proceso, así como se muestra en la figura 26.

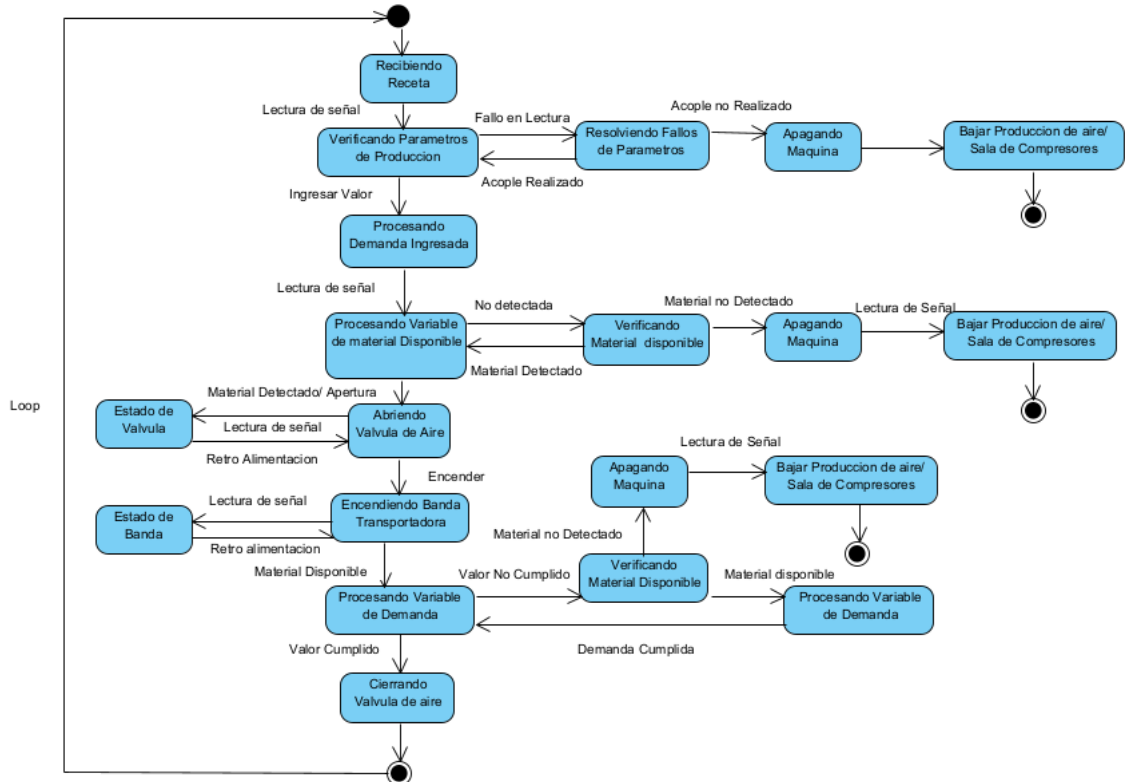


Figura 3. 26. Diagrama de Estado- Proceso de embutición metálica
Fuente: El Autor

iv. *Control de Calidad y Almacenamiento*

Para el proceso de control de calidad y almacenamiento, se procesa el material terminado disponible en el proceso, una vez transitada el estado se inicializa el proceso de evaluación en base a los siguientes estados: Espesor cierre, Longitud Cierre, Producto

Golpeado y Material Residual. Si el producto no aprueba en cualquier de los estados, es derivado al proceso de desecho o reciclaje y regresa al estado inicial del proceso. Si el material aprueba los estados de calidad anteriormente mencionados, es derivado al estado de Stock y regresa al estado inicial del proceso de control de calidad, así como se muestra en la figura 27.

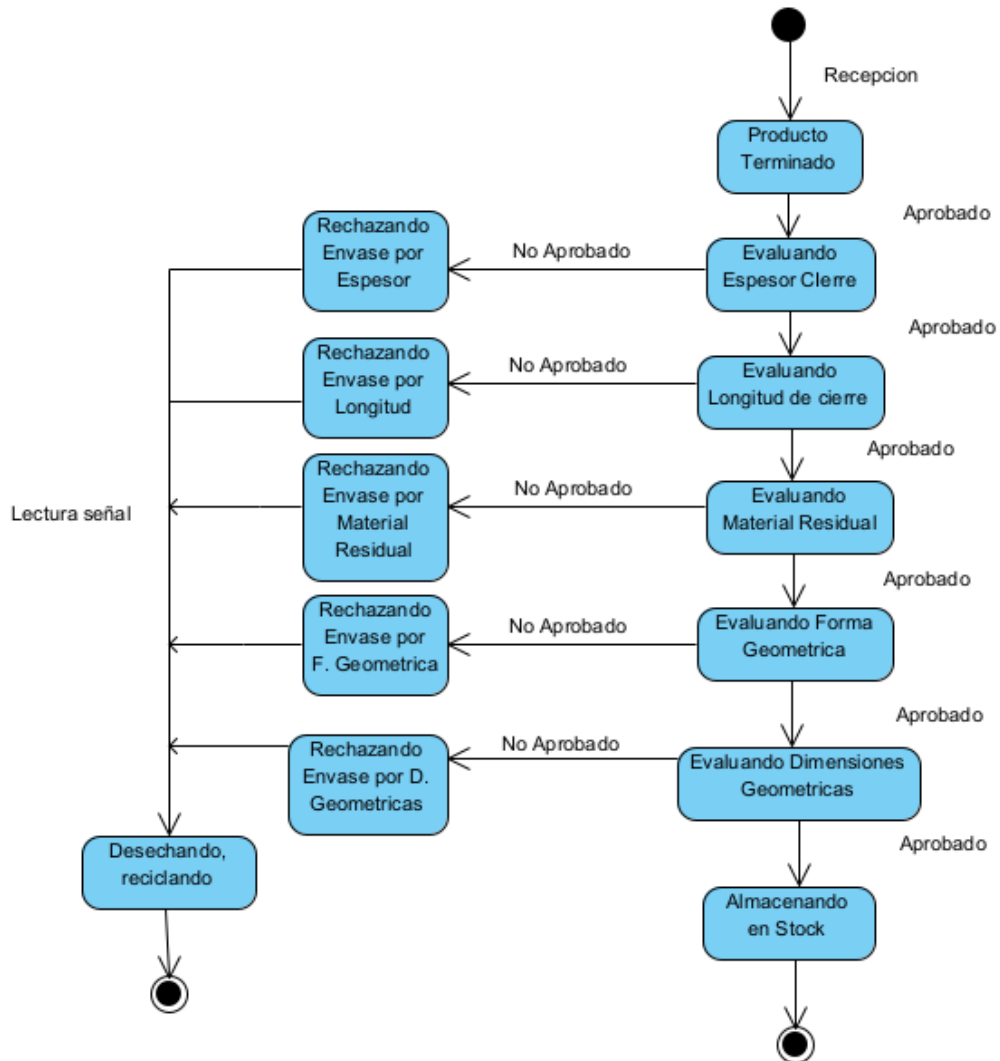


Figura 3. 27. Diagrama de Estado- Control de Calidad y Almacenamiento.
Fuente: El Autor

3.5. Modelado en redes de Petri

Las redes de Petri permiten visualizar el funcionamiento de cualquier sistema. Se implementa las redes de Petri con las condiciones del sistema a simular. Para este trabajo de investigación se modela el proceso de Elaboración de aire, Elaboración de materia Prima, Proceso de Embutición

Metálica y Control de Calidad y Almacenamiento con las condiciones que cada proceso requieren.

3.5.1. Red de Petri- Proceso de Elaboración de Aire

En la red de Petri de la figura 28 se muestra el proceso de elaboración de aire comprimido en modo automático. En la red de Petri se muestra la interacción de las variables de control del sistema, que son Voltaje, Frecuencia, PSI y CFM. El controlador realiza las operaciones de filtrado de aire, el llenado del tanque de almacenamiento y el proceso de secado de aire.

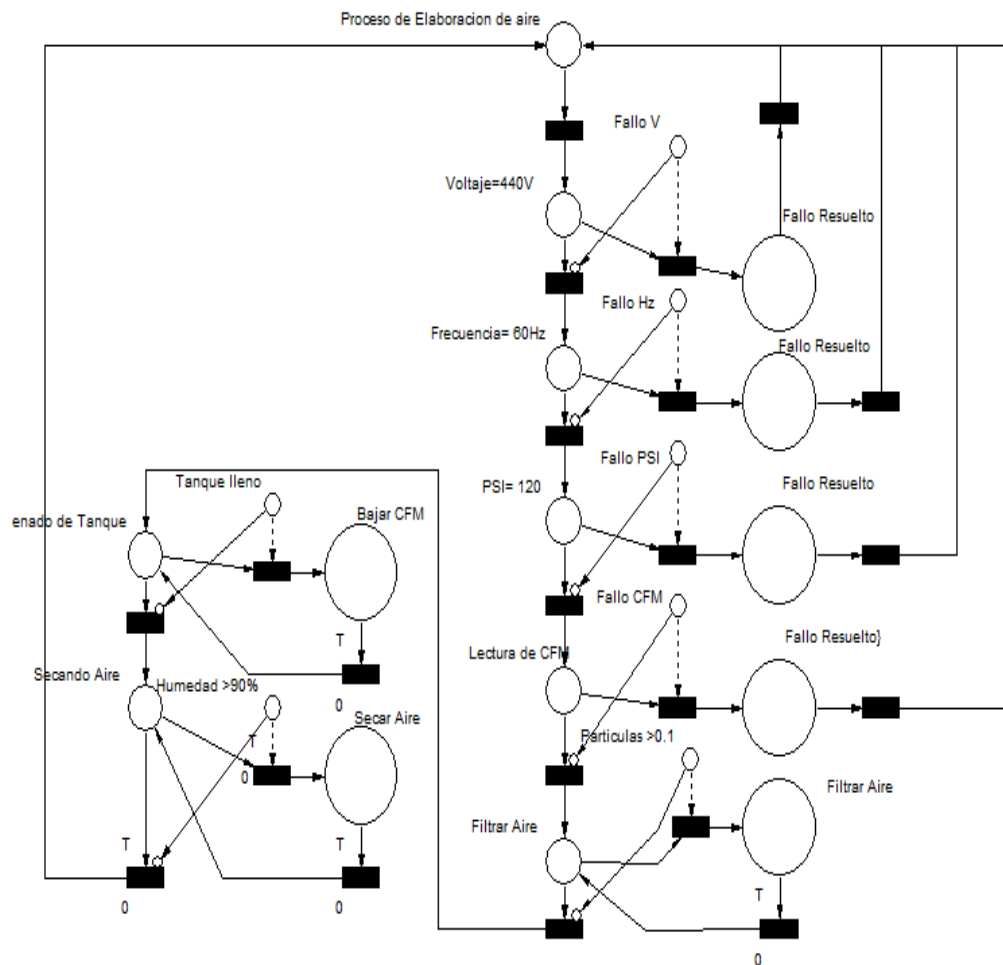


Figura 3. 28. Red de Petri- Proceso de Elaboración de Aire
Fuente: El Autor

3.5.2 Red de Petri – Proceso de Elaboración de Materia Prima.

En la figura 29 se muestra la red de Petri del proceso de Elaboración de Materia Prima donde se indica los procesos a recorrer para obtener las planchas que serán usadas en los procesos de producción de envases

metálicos. En esta sección el PLC trabaja acorde a la receta recibida, en dicha instrucción se especifica los parámetros técnicos para la elaboración de las planchas metálicas.

El controlador realiza las evaluaciones de material disponible, realiza el control de la apertura y cierre de la válvula de aire, y en la receta que se recibió como primer paso, es definido la cantidad de planchas requerida por producción. El proceso finaliza con el cierre de la válvula de aire y regresa al punto de inicio a la espera de una nueva receta.

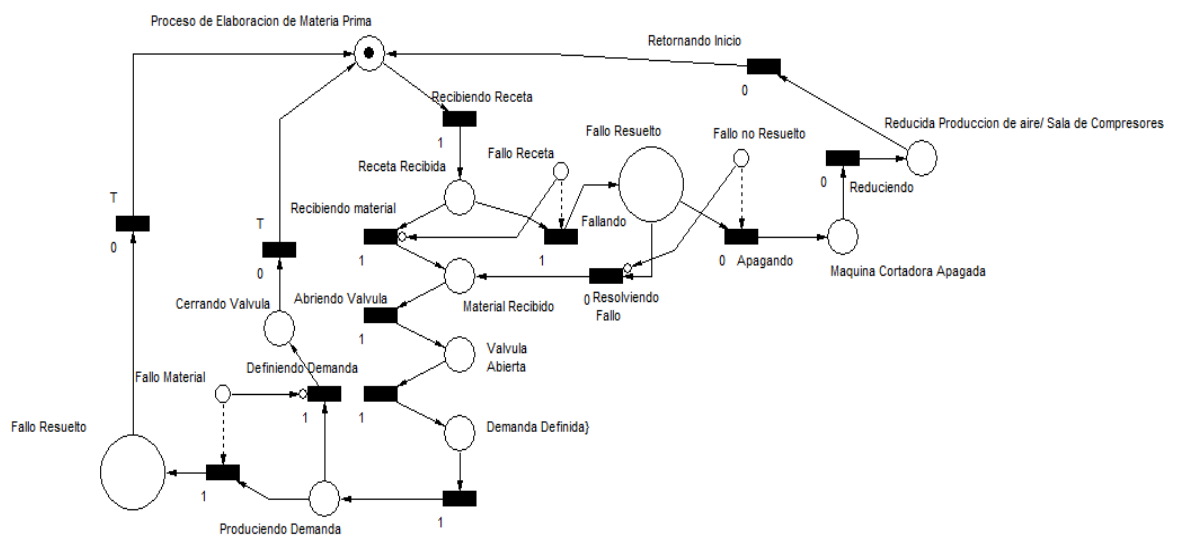


Figura 3. 29. Red de Petri- Proceso de Elaboración de Materia Prima.
Fuente: El Autor

3.5.3. Red de Petri- Proceso de Embutición Metálica

En la figura 30 se muestra la red de Petri del proceso de Embutición Metálica donde se indican los procesos a recorrer para la elaboración de envases metálicos. El PLC como primer paso recibe la receta que contiene los parámetros técnicos como demanda, tipo de envase a elaborar, tipo de material a utilizar, etc. Una vez procesada la receta, se confirma el acople a utilizar y la demanda a producir, el PLC controla la apertura y cierre de la válvula de aire. Una vez culminado el proceso, regresa al punto inicial a espera de nuevas instrucciones.

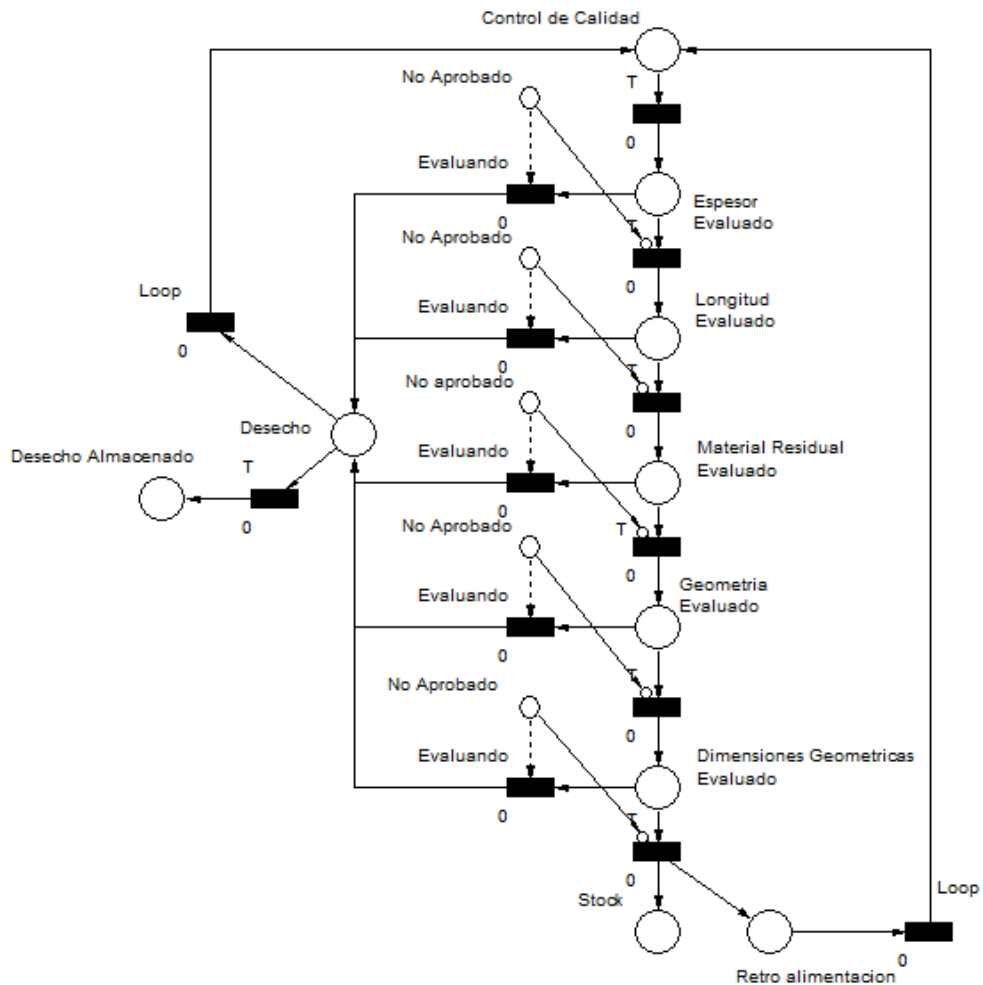


Figura 3. 31. Red de Petri- Control de Calidad y Almacenamiento
Fuente: El Autor

3.6. Evaluación del sistema de sistema

Para el análisis de las redes de Petri anteriormente diseñadas, se emplea la herramienta PIPE para obtener los resultados de los procesos propuestos.

3.6.1. Análisis de resultado del proceso de Elaboración de aire.

Para el análisis de la red de Petri del proceso de Elaboración de aire se consideran los siguientes parámetros.

- i. *Incidencia y Marcado- Proceso de Elaboración de Aire.*

En la figura 32 se muestra los valores de marcado e incidencia de las transiciones habilitadas al inicio del proceso de elaboración de

aire por la señal de Voltaje donde solo P0 tiene un token y T0 esta habilitada. Este resultado muestra que en ningún lugar habrá más de un token, por lo que la red es binaria.

		Marking																					
		P0	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P18	P17	P19	P20	P21
Initial		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Current		1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

		Enabled transitions																					
		T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16	T17	T18	T19	T20	T21
		yes	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no

Figura 3. 32. Incidencia y Marcado del proceso de Elaboración de aire.
Fuente: El Autor

ii. *Análisis de Invariantes- Proceso de Elaboración de Aire.*

El resultado del análisis de invariantes se toma en consideración la ecuación matemática obtenida a partir del proceso de Elaboración de aire. La ecuación muestra que es una red binaria, este resultado garantiza que en ninguna parte de la red habrá más de dos tokens por lugar, si en algún lugar de la red se obtiene más de dos tokens, esto incumpliría con la propiedad de limitación obteniendo una red poco segura.

$$EC= M(P0) + M(P1) + M(P2) + M(P4) + M(P6) + M(P7) + M(P9) + M(P10) + M(P12) + M(P13) + M(P15) + M(P16) + M(P18) + M(P19) + M(P21) = 1$$

iii. *Análisis del espacio de estado- Proceso de Elaboración de Aire.*

Para la interpretación de los resultados del análisis del espacio de estado se toman en consideración los parámetros de limitación, seguridad y puntos muertos, la figura 33 muestra los resultados obtenidos de la red de Petri del proceso de elaboración de aire comprimido. La interpretación de los resultados mostrados que la red de Petri correspondiente al proceso cumple con la propiedad de limitación (Bounded), el resultado de esta primera prueba es verdadero, en cada lugar de la red solo habrá un solo token, la propiedad de alcanzabilidad (Safe) confirma que la red es segura y que todo los lugares de la red al menos la mínima cantidad de un token serán

alcanzados y no quedara espacios vacio o en blanco, y por último, la red cumple con la propiedad de red viva (Deadlock) el resultado de esta prueba es falsa, la interpretación de este resultado es que no habrá puntos muertos en la red y que en ningún momento el proceso quedara estancando por alguna condición que presenten el sistema.

Petri net state space analysis results

Bounded	true
Safe	true
Deadlock	false

Figura 3. 33. Análisis del espacio de estado del proceso de Elaboración de aire.
Fuente: El Autor

3.6.2. Análisis de resultado del proceso de Elaboración de materia prima.

Para el análisis de la red de Petri del proceso de Elaboración de materia prima se consideran los siguientes parámetros.

i. Incidencia y Marcado- Proceso de Elaboración de Materia Prima.

En la figura 34 se muestra los valores de marcado e incidencia de las transiciones habilitadas al inicio del proceso de elaboración de aire por la señal de Voltaje donde solo P0 tiene un token y T0 está habilitada. Este resultado muestra que en ningún lugar habrá más de un token, por lo que la red es binaria.

		Marking													
		P0	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13
Initial		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Current		1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

		Enabled transitions													
		T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13
		yes	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no

Figura 3. 34. Incidencia y Marcado del proceso de Elaboración de materia prima.
Fuente: El Autor

ii. Análisis de Invariantes- Proceso de Elaboración de Materia Prima.

El resultado del análisis de invariantes se toma en consideración la ecuación matemática obtenida a partir del proceso de Elaboración de materia prima. La ecuación muestra que es una red binaria, este resultado garantiza que en ninguna parte de la red habrá más de dos

tokens por lugar, si en algún lugar de la red se obtiene más de dos tokens, esto incumpliría con la propiedad de limitación obteniendo una red poco segura.

$$EC= M(P0) + M(P1) + M(P3) + M(P5) + M(P6) + M(P7) + M(P8) + M(P9) + M(P10) + M(P11) + M(P13) = 0$$

iii. *Análisis del espacio de estado- Proceso de Elaboración de Materia Prima.*

Para la interpretación de los resultados del análisis del espacio de estado se toman en consideración los parámetros de limitación, seguridad y puntos muertos, la figura 35 muestra los resultados obtenidos de la red de Petri del proceso de elaboración de aire comprimido. La interpretación de los resultados mostrados que la red de Petri correspondiente al proceso cumple con la propiedad de limitación (Bounded) cumple con la propiedad de limitación (Bounded), el resultado de esta primera prueba es verdadero, en cada lugar de la red solo habrá un solo token, la propiedad de alcanzabilidad (Safe) confirma que la red es segura y que todo los lugares de la red al menos la mínima cantidad de un token serán alcanzados y no quedara espacios vacío o en blanco, y por último, la red cumple con la propiedad de red viva (Deadlock) el resultado de esta prueba es falsa, la interpretación de este resultado es que no habrá puntos muertos en la red y que en ningún momento el proceso quedara estancando por alguna condición que presenten el sistema.

Petri net state space analysis results

Bounded	true
Safe	true
Deadlock	false

Figura 3. 35. Análisis del espacio de estado del proceso de Elaboración de materia prima.
Fuente: El Autor

3.6.3. Análisis de resultado del proceso de Embutición metálica.

Para el análisis de la red de Petri del proceso de Embutición metálica se consideran los siguientes parámetros.

i. Incidencia y Marcado- Proceso de Embutición Metálica.

En la figura 36 se muestra los valores de marcado e incidencia de las transiciones habilitadas al inicio del proceso de elaboración de aire por la señal de Voltaje donde solo P0 tiene un token y T0 está habilitada. Este resultado muestra que en ningún lugar habrá más de un token, por lo que la red es binaria.

		Marking																				
		P0	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17	P18	P19	P20
Initial		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Current		1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0

		Enabled transitions																					
		T0	T1	T2	T4	T5	T6	T7	T9	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16	T17	T18	T19	T20	T21	T22	
		yes	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	

Figura 3. 36 Incidencia y Marcado del proceso de Embutición metálica.

Fuente: El Autor

ii. Análisis de Invariantes- Proceso de Embutición Metálica.

El resultado del análisis de invariantes se toma en consideración la ecuación matemática obtenida a partir del proceso de Embutición metálica. La ecuación muestra que es una red binaria, este resultado garantiza que en ninguna parte de la red habrá más de dos tokens por lugar, si en algún lugar de la red se obtiene más de dos tokens, esto incumpliría con la propiedad de limitación obteniendo una red poco segura.

$$EC= M(P0) + M(P1) + M(P3) + M(P4) + M(P5) + M(P7) + M(P8) + M(P9) + M(P11) + M(P12) + M(P14) + M(P15) + M(P17) + M(P18) + M(P20) = 1$$

iii. Análisis del espacio de estado- Proceso de Embutición Metálica.

Para la interpretación de los resultados del análisis del espacio de estado se toman en consideración los parámetros de limitación,

seguridad y puntos muertos, la figura 37 muestra los resultados obtenidos de la red de Petri del proceso de elaboración de aire comprimido. La interpretación de los resultados mostrados que la red de Petri correspondiente al proceso cumple con la propiedad de limitación (Bounded) cumple con la propiedad de limitación (Bounded), el resultado de esta primera prueba es verdadero, en cada lugar de la red solo habrá un solo token, la propiedad de alcanzabilidad (Safe) confirma que la red es segura y que todo los lugares de la red al menos la mínima cantidad de un token serán alcanzados y no quedara espacios vacío o en blanco, y por último, la red cumple con la propiedad de red viva (Deadlock) el resultado de esta prueba es falsa, la interpretación de este resultado es que no habrá puntos muertos en la red y que en ningún momento el proceso quedara estancando por alguna condición que presenten el sistema.

Petri net state space analysis results

Bounded	true
Safe	true
Deadlock	false

Figura 3. 367. Análisis del espacio de estado del proceso de Embutición metálica.

Fuente: El Autor

3.6.4. Análisis de resultado del proceso de Control de Calidad y Almacenamiento.

Para el análisis de la red de Petri del proceso de Control de Calidad y Almacenamiento. se consideran los siguientes parámetros.

- i. Incidencia y Marcado- Proceso de Control de Calidad y Almacenamiento*

En la figura 38 se muestra los valores de marcado e incidencia de las transiciones habilitadas al inicio del proceso de elaboración de aire por la señal de Voltaje donde solo P0 tiene un token y T0 está

habilitada. Este resultado muestra que en ningún lugar habrá más de un token, por lo que la red es binaria.

		Marking															
		P0	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15
Initial		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
Current		1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0

Enabled transitions															
T0	T1	T2	T3	T4	T5	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14	T15	
yes	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	yes	yes	no	

Figura 3. 378. Incidencia y Marcado del proceso de Control de Calidad y Almacenamiento

Fuente: El Autor

ii. Análisis de Invariantes- Proceso de Control de Calidad y Almacenamiento

El resultado del análisis de invariantes se toma en consideración la ecuación matemática obtenida a partir del proceso de Control de Calidad y Almacenamiento. La ecuación muestra que es una red binaria, este resultado garantiza que en ninguna parte de la red habrá más de dos tokens por lugar, si en algún lugar de la red se obtiene más de dos tokens, esto incumpliría con la propiedad de limitación obteniendo una red poco segura.

$$EC = M(P0) + M(P1) + M(P2) + M(P3) + M(P4) + M(P5) + M(P12) + M(P13) + M(P14) + M(P15) = 1$$

iii. Análisis del espacio de estado- Proceso de Control de Calidad y Almacenamiento

Para la interpretación de los resultados del análisis del espacio de estado se toman en consideración los parámetros de limitación, seguridad y puntos muertos, la figura 39 muestra los resultados obtenidos de la red de Petri del proceso de elaboración de aire comprimido. La interpretación de los resultados mostrados que el

modelado propuesto que la red de Petri correspondiente al proceso cumple con la propiedad de limitación (Bounded) cumple con la propiedad de limitación (Bounded), el resultado de esta primera prueba es verdadero, en cada lugar de la red solo habrá un solo token, la propiedad de alcanzabilidad (Safe) confirma que la red es segura y que todo los lugares de la red serán alcanzados por un token y no quedara ningún lugar vacío o en blanco, y por último, la red cumple con la propiedad de red viva (Deadlock) el resultado de esta prueba es verdadero, la interpretación de este resultado es que habrá puntos muertos en la red y que cuando termine el conteo del productor terminado el proceso se detendrá por la condición que presenten el sistema.

Petri net state space analysis results

Bounded	true
Safe	true
Deadlock	true

Shortest path to deadlock: T0 T1 T2 T3 T4 T5

Figura 3. 389. Análisis del espacio de estado del proceso de Control de Calidad y Almacenamiento.

Fuente: El Autor

CAPITULO IV: PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. Presentación de Resultados

Los resultados alcanzados en esta investigación fueron acordes a lo esperado, se demuestra que la automatización y control de un proceso de producción, desde la generación de aire comprimido hasta control de calidad, manteniendo un pleno control de la sala de compresores si se presenta algún fallo en las líneas de producción y de forma automática bajar el flujo de aire comprimido. Los modelos ayudan a facilitar el diseño de la lógica de control, disminuyendo las posibilidades de generar errores o fallas del sistema. Basándose en las herramientas de modelado, UML y redes de Petri, se obtuvo un modelo óptimo de los procesos de generación de aire, elaboración de materia prima, proceso de embutición metálica, control de calidad y almacenamiento.

4.1.1. Resultado del Modelado

El uso de la herramienta de modelado UML permite identificar los actores que participan en los procesos de producción, cada actor realiza funciones específicas y esenciales que son mostrados en cada diagrama de caso de uso y secuencial, los actores que participan en el sistema se identifican como el operador y el sistema de control. El diagrama de secuencia realizado ayuda a identificar las interacciones que tiene dentro del sistema de cada proceso. Y los diagramas de estado aporta el flujo detallado de cada transición dentro del sistema.

Con los diagramas anteriormente realizados se puede diseñar las redes de Petri correspondiente a cada proceso, estas ayudan a observar las interacciones del funcionamiento de todo el proceso, de esta forma se garantiza la operatividad de cada proceso. Los programas de PIPE y Visual Object permiten realizar las interacciones entre estados y permite analizar a mayor detalle, permitiendo de esta forma obteniendo redes seguras y confiables.

4.1.2. Resultado del Estado del Arte

Los estados de arte usados en este trabajo de investigación, se logra encontrar información relacionado e importante que ayudo al desarrollo del presente proyecto.

Uno de los artículos utilizados y de mayor relevancia, es la investigación realizada por (Hacksteiner et al., 2017) expone las necesidades de la industria, debido a que se encuentran en un constante crecimiento, y estas buscan mejorar la productividad al mismo tiempo que reducen los costos de producción. Así mismo la investigación realizada por (Saravanan et al., 2018), en dicho artículo indican que los PLC y sistemas SCADA ayudan a tener una supervisión completa y segura. Ayudan a supervisar de forma constante los parámetros de los procesos, de esta forma cumple los objetivos principales, logrando reducir la cantidad de trabajo y ahorrando costes.

4.1.3. Resultado de la Arquitectura

La arquitectura de control de automatización desarrollada en la sección 3.2.1. muestra una estructura dividida por niveles la cuales permite tener una mejor idea del tipo de topología utilizada y los beneficios que aportan una topología tipo bus, así como el medio de comunicación entre que permite el cumplimiento de las diferentes funciones que cada proceso a automatizar, teniendo en cuenta los diferentes equipos que están conectados tanto a nivel de supervisión, nivel de control y nivel de campo.

4.2. Discusión de Resultados

Se plantea los resultados obtenidos de la presente investigación.

4.2.1. Cumplimiento de Objetivos

A continuación, se presenta cumplimientos de los objetivos presentados al inicio de esta investigación.

4.2.1.1. Cumplimiento de Objetivo General

Se logra proponer y diseñar una arquitectura SCADA de una planta de embutición metálica con herramientas de modelado y simulación gráfica,

redes de Petri y Diagramas UML. Esta propuesta se realiza con fundamentos técnicos y simulaciones que comprueban el correcto funcionamiento del sistema, logrando así un sistema seguro.

4.2.1.2. Cumplimiento de Objetivo Específico.

- i. Se logra diseñar un sistema de control y supervisión SCADA, donde se analizan los distintos niveles de control y supervisión de cada campo, además de la medición de las distintas variables físicas que involucran cada proceso.
- ii. Se logra modelar el sistema de control y supervisión de cada proceso involucrado en el sistema, obteniendo los diagramas UML y redes de Petri correspondientes, y corroborando su funcionamiento por medio del software Visual Object Net y PIPE.
- iii. Se logra evaluar los resultados obtenidos de cada proceso diseñado, se logra analizar cada propiedad de cada proceso, teniendo como resultado redes seguras y comprobando su correcto funcionamiento.

4.3. Análisis de metodología de investigación.

Para el desarrollo del presente proyecto de investigación se plantea la utilización de la metodología de tipo correlación con enfoque cuantitativo, la cual se tiene bases bibliográficas la cual permite establecer criterios fundamentales y procedimientos aplicables para cada uno de los procesos definidos e investigados, y el enfoque cuantitativo, a partir de los resultados obtenidos mediante los modelados UML y el análisis de las propiedades de las simulaciones de Redes de Petri de cada sistema. El método escogido para el desarrollo del presente trabajo de investigación fue el apropiado, debido a que se cumple con todas las tareas y objetivos planteados

4.4. Análisis del cumplimiento de funciones

Las funciones y características del sistema son presentadas en el capítulo anterior

La arquitectura propuesta en esta investigación es de topología tipo bus y descentralizada, en la arquitectura propuesta existen varios controladores y actuadores que están en constante monitoreo por un sistema SCADA que

visualiza y controla cada acción sin necesidad de estar presente en los sitios de operación, las características de ser un sistema descentralizado es que existe interconectividad entre los componentes del sistema dando a la posibilidad de realizar modificaciones y rediseñar la red sin la necesidad de interrumpir todo el sistema

Las características de los modelados UML desarrollados, están compuestas por tres diferentes diagramas, las cuales son: caso de uso, de secuencia y de estados. Los diagramas mencionados anteriormente ayudan a comprender que componentes del sistema intervienen en los procesos de producción, que funciones realizan y que condiciones de funcionabilidad hay en cada proceso. Todas las funciones del sistema fueron comprobadas mediante simulación en redes de Petri, diseñadas a partir de los diagramas UML, de esta forma se puede analizar las propiedades del sistema, cumpliendo con las propiedades de alcanzabilidad, red viva y puntos muertos. Los resultados de estas propiedades indican que el sistema no tiene puntos muertos, estos impiden un flujo normal del proceso, cumple con las propiedades de red viva, esta propiedad indica que en todos los lugares en la red de Petri solo habrá un solo token en todo el sistema y la propiedad de alcanzabilidad demuestra que cada sección de la red será alcanzando al menos por un token. Todas estas propiedades indican que el sistema es seguro y tiene funcionabilidad óptima que permite cumplir las funciones de control de las principales variables tales como: disponibilidad de material en cada proceso de producción, flujo de aire CFM, presión (PSI), consumo de corriente y sobre todo tener un pleno control de la sala de compresores para así obtener un ahorro significativo de energía en cada proceso que constituye el sistema de producción en su totalidad.

4.5. Análisis del problema de investigación.

En el capítulo 1 se menciona el problema a investigar, la cual consiste en el alto consumo de energía eléctrica de una planta de embutición metálica y que modelados se podría implementar para dar solución al mismo. El desarrollo de la presente investigación muestra modelados óptimos y seguros de redes de Petri y Diagramas UML, la cual se logra analizar todas las posibles

condiciones y limitaciones posible que involucra cada proceso, de esta forma permite alcanzar altos niveles de operatividad, tener un mejor control de la sala de compresores al controlar mejor el flujo de aire y mejorando la calidad. Los equipos de control e instrumentación descritos en este trabajo para el desarrollo de la arquitectura propuesta, tiene características de alto rendimiento, gran eficiencia de control y mando del sistema, lo que permite tener un mejor control, procesar, almacenar información y mostrar resultados en una forma clara y precisa.

CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

A continuación, se presenta las conclusiones del presente trabajo de investigación

- i. La arquitectura propuesta para la implementación de un sistema SCADA para el control y supervisión de los procesos de elaboración de aire comprimido, elaboración de materia prima, proceso de embutición metálica y control de calidad y almacenamiento es una arquitectura jerárquica que permite una comunicación fluida, permitiendo un mejor control eficiente y seguro en los diferentes niveles campo de control ya sean: nivel de supervisión, control y campo
- ii. El Lenguaje de Modelado Unificado (UML) ha permitido definir los principales actores involucrados en el sistema SCADA , definir los requisitos de funcionabilidad del sistema y, haciendo uso de los diagramas UML, se definió las secuencias de operatividad y el conjunto de estados del sistema basado en las condiciones y perturbaciones que se presenten.
- iii. El modelado con redes de Petri, permite determinar el comportamiento dinámico del sistema en todas sus etapas, mostrando el desarrollo del sistema y de esta forma se detecta posibles errores de operación.
- iv. Es posible proyectar, diseñar y simular la parte dinámica de una arquitectura SCADA en los procesos de embutición metálica, haciendo uso de las herramientas de modelado, con redes de Petri y UML, puesto que a través del análisis de las propiedades de la red, se obtiene un sistema seguro, confiable y garantiza la buena formación del sistema en su parte funcional y estructural, habiendo tenido un análisis óptimo y cumplido con todas las propiedades.

5.2. Recomendaciones

Se presentan las siguientes recomendaciones obtenidas a lo largo del presente trabajo de investigación.

- i. Se recomienda el uso de los softwares de simulación y modelado como PIPE y Visual Object Net para realizar los diferentes modelados del sistema SCADA puesto que son de fácil manejo y cuentan con licencias gratuitas.
- ii. Se recomienda el uso de diagramas de flujo para obtener mayores detalles para el diseño del sistema SCADA, de esta forma lograr desarrollar la función principal del proceso.
- iii. Se recomienda el uso de bibliografía de sistemas SCADAS de última edición, para tener un sistema actualizado, confiable y óptimo.
- iv. Para el correcto desarrollo de las redes de Petri, se recomienda guiarse con los diagramas de estado de cada proceso para obtener un correcto diseño de la red, además es importante tomar en cuenta que al momento de diseñar una red de Petri, no se puede conectar de transición con transición o de estado a otro estado, todos los estados deben de conectarse por medio de una transición.
- v. Para el diseño del sistema SCADA se recomienda como primer paso definir las arquitecturas de control, la cual se puede definir la estructura jerárquica del sistema, la organización e interconexión de cada equipo que compone el sistema de supervisión.

BIBLIOGRAFÍA.

- Aguilar, J., BOLIVAR, A. R., Hidrobo, F., & Cerrada, M. (2013). *Sistemas MultiAgentes y sus Aplicaciones en Automatización Industrial*. Universidad de Los Andes, Merida, Venezuela.
- Auditorias en sistemas de Aire Comprimido. (2017, December 5). Benedetti, M., Bonfa', F., Bertini, I., Introna, V., & Ubertini, S. (2018). Explorative study on Compressed Air Systems' energy efficiency in production and use: First steps towards the creation of a benchmarking system for large and energy-intensive industrial firms. *Applied Energy*, 227, 436–448.
- Borzea, C., Vlăducă, I., Ionescu, D., Petrescu, V., Niculescu, F., Nechifor, C., Vătăşelu, G., & Hanek, M. (2019). Compressed Air Energy Storage installation for renewable energy generation. *E3S Web of Conferences*, 112, 02010.
- Boyer, S. A., Ali, T., Das, S., Cakar, Y., AHARTA, Azzaz, Lee, M., Persyn, K., Tham, Ayushi, & Daniel, J. (n.d.). *SCADA: Supervisory control and data acquisition*, fourth edition. Goodreads.Com. Retrieved July 8, 2021.
- Calomarde Herrero, A. (2020). *Desarrollo de correlaciones para la caracterización de compresores de piston dentro del campo de la refrigeración comercial* (Doctoral dissertation, Universitat Politècnica de València).
- Cevallos, K. (2015, June 4). *UML: Casos de Uso*.
- Energy Engineering. (n.d.). Tandfonline.Com. Retrieved June 13, 2021.
- Filtros de aire comprimido - Conceptos básicos de filtración. (n.d.). Omega-Air.Es. Retrieved June 14, 2021.
- Fuentes Soriano, O. (2020). *Era digital, sociedad Y derecho*. Era digital, sociedad Y derecho, 1-664.

- Gaska, K., & Generowicz, A. (2020). SMART computational solutions for the optimization of selected technology processes as an innovation and progress in improving energy efficiency of smart cities—A case study. *Energies*, 13(13), 3338.
- Hacksteiner, M., Duer, F., Ayatollahi, I., & Bleicher, F. (2017). Automatic assessment of machine tool energy efficiency and productivity. *Procedia CIRP*, 62, 317–322.
- (Macias et al., 2018) Macias, E., Suarez, A., Chiti, F., Sacco, A., & Fantacci, R. (2018). A hierarchical communication architecture for oceanic surveillance applications. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 11(12), 11343–11356.
- Mare, P., Bredenkamp, J. I. G., & Marais, J. H. (2017). Evaluating compressed air operational improvements on a deep-level mine through simulations. *2017 International Conference on the Industrial and Commercial Use of Energy (ICUE)*, 1–8.
- Nehler, T. (2018). Linking energy efficiency measures in industrial compressed air systems with non-energy benefits—A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 89, 72-87.
- Nel, A. J. H., V, & Robayo-García, J. C. (2020). Desarrollo de un modelo para la osloo, J. C., & Mathews, M. J. (2018). Financial model for energy efficiency projects in the mining industry. *Energy (Oxford, England)*, 163, 546–554.
- Pachacama Cushicondor, J. R. (2019). Mantenimiento correctivo de un compresor tipo tornillo INGERSOLL-RAND de 650CFM.
- Prieto-Torres, I. P. transmisión de imágenes tomadas de un cultivo de guanábana.
- Santolamazza, A., Cesarotti, V., & Introna, V. (2018). Anomaly detection in energy consumption for Condition-Based maintenance of Compressed

Air Generation systems: an approach based on artificial neural networks. *IFAC-PapersOnLine*, 51(11), 1131–1136.

Sanchis Llopis, R., Romero Pérez, J. A., & Vicent Ariño, C. (2010). *Automatización industrial*.

Saravanan, K., Anusuya, E., Kumar, R., & Son, L. H. (2018). Real-time water quality monitoring using Internet of Things in SCADA. *Environmental Monitoring and Assessment*, 190(9), 556.

scada-system-architecture - Ecava IGX Web SCADA. (2017, March 7).

Secadores refrigerativos para aire comprimido - serie RDP. (n.d.). Omega-Air.Es. Retrieved June 14, 2021.

Secadores refrigerativos para aire comprimido - serie RDP. (n.d.). Omega-Air.Es.

Seleccionando la Estación Maestra en sistemas SCADA. (2009, December 22). *Instrumentacionycontrol.net*.

Taheri, K., & Gadow, R. (2017). Industrial compressed air system analysis: Exergy and thermoeconomic analysis. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 18, 10–17.

Tanques de almacenamiento de aire comprimido. (n.d.). Kaeser.Com. Retrieved June 14, 2021.

Tanques de almacenamiento de aire comprimido. (n.d.). Kaeser.Com. Retrieved July 8, 2021.

Tratamiento de aire comprimido Valencia - TEBYC. (2020, January 2).

Silva, M. (1985). *Las Redes de Petri: en la Automática y la Informática* (No. BOOK-2018-014). Editorial Ac.

ANEXOS

Tabla 3. 1. Especificaciones técnicas del PLC 1769-L30ERM

PLC 1769-L30ERM	
CONTROLADOR	COMPACTLOGIX 5370 L3
Conexión de Ethernet	Doble puerto Ethernet con capacidad DLR
Memoria	1MB
Slot para módulos	8 E/S
Nodos IP Ethernet	16
Movimiento CIP	4 ejes con función cinemática
Suministran con una tarjeta SD	1 GB, se puede admitir hasta 2 Gb

Tabla 3. 2. Especificaciones técnicas del Motor trifásico 3SIE132M2A

Motor trifásico 3SIE132M2A	
AC/DC	Trifásico, de inducción a 400V, 380 V, 220V, 690 V
Tipo de protección	IP55
Potencia	11 kW, 12,7 kW
HP	14,956 hp
Velocidad de rotación	3.000 rpm, 3.600 rpm

Tabla 3. 3. Especificaciones técnicas del compresor de aire Ingresoll Rand- (IR Nirvana 100 HP)

Ingresoll Rand- (IR Nirvana 100 HP)	
PSI Max	125
CFM	438
Potencia	100 HP
Tensión	440V

Tabla 3. 4. Especificaciones técnicas de banda de transporte

Bandas de transporte	
Peso	16982.5 kg
Tercera banda transportadora de producto	40000 lbs/ 18143.7 kg
Peso del enganche primera banda	4205 lbs/ 1907.4 kg
Peso del enganche con tercera banda transportadora de producto	5300 lbs /2404 kg
Longitud de transporte	39.5' / 12 m
Ancho de transporte	111" / 281.9 cm

Tabla 3. 5. Especificaciones técnicas del Transformador de corriente

Transformador de corriente	
Serie	1411
Tipo	Seco para baja tensión insertable
Tensión	600 VCA, incluye bajo voltaje.

Tabla 3. 6. Especificaciones técnicas de Anemómetro PCE-HVAC 2

Anemómetro PCE-HVAC 2	
Diámetro del tubo de Pitot	8 mm
Longitud de tubos de conexión	850 mm (cada uno)
Longitud del tubo de Pitot	335 mm
Condiciones de funcionamiento	de 0 ... +50 °C / < 90 %
Memoria interna	99 valores por parámetro con interfaz USB y pantalla LCD.

Tabla 3. 7. Especificaciones técnicas del sensor MTH500S Sensor de humedad y temperatura

MTH500S Sensor de humedad y temperatura	
Diámetro del tubo de Pitot	8 mm
Longitud de tubos de conexión	850 mm (cada uno)
Longitud del tubo de Pitot	335 mm
Condiciones de funcionamiento	de 0 ... +50 °C / < 90 %
Memoria interna	99 valores por parámetro con interfaz USB y pantalla LCD.

Tabla 3. 8. Especificaciones técnicas Tarjetas de entrada analógica 1734 IE4C

Tarjetas de entrada analógica	
Modelo	1734 IE4C

Módulo de entrada de corriente analógica de alta densidad	24V Dc
Canales	4
Numero de bits	16

Tabla 3. 9. Especificaciones técnicas Tarjeta de salida

Tarjetas de salida analógica	
Modelo	1734-OE4C
Módulo de Salida analógica de corriente	24V Dc
Canales	4
Numero de bits	16

Tabla 3. 10. Especificaciones técnicas de la pantalla HMI PANEL VIEW 700 12" (2711R-T7T)

HMI PANEL VIEW 700 12" (2711R-T7T)	
Cable de conexión	RJ45 macho a RJ45 macho
Tipo de cable	TPE verde azulado
Diámetro del cable	1.9 mm
Tamaño del monitor	12"
Tipo de entrada	Pantalla táctil TFT
Comunicación	Puertos Serie y Ethernet

Tabla 3. 11. Especificaciones técnicas del módulo de comunicación N-TRON 708-TX

Módulo de comunicación N-TRON 708-TX	
Dimensiones de la caja	Altura: 5,8 cm; Anchura: 21,0 cm (8,3"); Profundidad: 4,8" (12,1 cm)
Peso (maximo)	1,5 kg (3,3 lbs)
Montaje en carril DIN	35 mm
Tensión de entrada	10-30 VDC (regulada)
Corriente de entrada (máx.)	620mA máx/ 24 VDC
BTU/hora	50,8
Fuente de alimentación N-TRON	NTPS-24-1.3 (1.3A@24V)
Número de direcciones MAC	8
Tiempo de envejecimiento	2,6 μ s
Método de conmutación	Store-and-Forward

Tabla 3. 12. Especificaciones técnicas del módulo de poder 24VDC 1734-EP24DC

Módulo de poder 24VDC 1734-EP24DC	
Capacidad del módulo de E/S	4-17 módulos
Tensión de entrada	10...28.8Vdc
Requisitos de alimentación del lado de campo	(+20%=28,8Vdc máximo)
Corriente de entrada (máx.)	400mA máximo
Corriente de irrupción	6A durante 10ms.
Corriente de salida del bus de puntos Montaje horizontal	1A a 10...19,2V de entrada
Corriente de salida del bus de puntos Montaje vertical	1A a 10...28,8V de entrada.



DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Martinez Villacres, Mauricio Manuel**, con C.C: # **0931607410** autor/a del trabajo de titulación: **Arquitectura SCADA para una red de aire comprimido en un proceso de embutición metálica**. previo a la obtención del título de **INGENIERO ELECTRÓNICO EN CONTROL Y AUTOMATISMO** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, 16 de septiembre de 2021

f. _____

Nombre: **Mauricio Manuel Martinez Villacres**

C.C: **0931607410**



REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN

TEMA Y SUBTEMA:	Arquitectura SCADA para una red de aire comprimido en un proceso de embutición metálica.		
AUTOR(ES)	Martinez Villacres, Mauricio Manuel		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	Mgs. Mendoza Merchán, Eduardo Mendoza		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
FACULTAD:	Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo		
CARRERA:	Ingeniería Electrónica en Control y Automatismo		
TÍTULO OBTENIDO:	Ingeniero Electrónico en Control y Automatismo		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	16 de septiembre de 2021	No. DE PÁGINAS:	113
ÁREAS TEMÁTICAS:	Sistemas de Automatización, Modelados Matemáticos, Sistemas de Control		
PALABRAS CLAVES/KEYWORDS:	CONTROL, SUPERVISION, MODELADO, PETRI, UML, AHORRO, SCADA.		
RESUMEN/ABSTRACT (150-250 palabras):	<p>En las plantas de elaboración de envases metálicos, siempre están en constante crecimiento, y en la mayoría de los casos este crecimiento se da de forma desorganizada y esto desemboca en costos altos de operación, y por ello las plantas de producción permanentemente están en búsqueda de nuevos métodos de producción para ahorrar costes. Se implementa el modelado de un sistema de supervisión SCADA y el análisis para cada uno de los procesos mediante el uso de herramientas de modelo como los diagramas UML y redes de Petri, ajustándolas a una planta de elaboración de envases metálicos. La automatización en la actualidad ha tenido serios avances tecnológicos en cuanto al control y supervisión de procesos industriales que permiten monitorear y controlar de forma eficaz los sistemas, aportando beneficios y ventajas en los sistemas implementados. Para el desarrollo del presente trabajo de titulación, se hace el uso de métodos de modelado de Redes de Petri y diagramas UML que dan la facilidad de observar y analizar el comportamiento dinámico del sistema, de esta forma se puede identificar posibles fallos de operatividad, y proyectar una arquitectura que garantice la seguridad y la flexibilidad del sistema, basado en los avances y fundamentos teóricos en el área. Como resultado final, se consigue un modelado del sistema que cumple con las funciones principales propuestas para cada proceso involucradas. Además de poder diseñar una arquitectura de control que muestre el control en cada nivel de automatización.</p>		
ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: +593992852591	E-mail: mmartinezvillacres@hotmail.com	
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE)::	Nombre: Palacios Meléndez, Edwin Fernando		
	Teléfono: +593-9-6760829		
	E-mail: edwin.palacios@cu.ucsg.edu.ec		
SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA			
Nº. DE REGISTRO (en base a datos):			
Nº. DE CLASIFICACIÓN:			
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):			



**Presidencia
de la República
del Ecuador**



Plan Nacional
de Ciencia, Tecnología,
Innovación y Saberes



SENESCYT

Secretaría Nacional de Educación Superior,
Ciencia, Tecnología e Innovación