



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
UNIDAD DE POSGRADOS**

**MAESTRÍA EN CONTROL Y
AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIALES**

Tesis previa a la obtención
del Grado de Magister
en Control y
Automatización Industriales

**AUTOMATIZACIÓN DE LA LÍNEA DE
ENSAMBLE DE CONGELADORES E
INGRESO DE PRODUCTO TERMINADO, EN
LA EMPRESA INDUGLOB S.A**

Autor:
Edgar Fernando Lojan Bermeo.

Director:
Mariela Cerrada Lozada, Ph.D.

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

UNIDAD DE POSGRADOS

MAESTRÍA EN CONTROL Y AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIALES

Autor:
Edgar Fernando Lojan Bermeo.

Director:
Mariela Cerrada Lozada, Ph.D.

AUTOMATIZACIÓN DE LA LÍNEA DE ENSAMBLE DE CONGELADORES E INGRESO DE PRODUCTO TERMINADO, EN LA EMPRESA INDUGLOB S.A

Este trabajo de tesis presenta los resultados del diseño e implementación de un sistema de control y monitoreo aplicado a la línea de ensamble de congeladores y validación del producto terminado para ingreso a bodega, utilizando metodologías de conceptualización, como la metodología de modelado de negocios, BMM, enfocado en este caso a la automatización a nivel de planta y GEMMA para establecer los posibles modos de marcha y parada del proceso a automatizar.

Para el diseño e implementación se usó los resultados obtenidos de BMM y GEMMA, para programar el PLC y realizar la aplicación para la validación del producto terminado.

La investigación, diseño e implementación supone conocimientos previos de modelado de procesos, automatización industrial, PLCs y LabVIEW.

Los resultados obtenidos sirven como base de apoyo para realizar trabajos futuros en el área de la automatización industrial, sobre todo en el área de manufactura o procesos similares.

**AUTOMATIZACIÓN DE LA LÍNEA DE
ENSAMBLE DE CONGELADORES E
INGRESO DE PRODUCTO TERMINADO, EN
LA EMPRESA INDUGLOB S.A**

**AUTOMATIZACIÓN DE LA LÍNEA DE ENSAMBLE
DE CONGELADORES E INGRESO DE PRODUCTO
TERMINADO, EN LA EMPRESA INDUGLOB S.A**

AUTOR:

EDGAR FERNANDO LOJAN BERMEO

Ingeniero Electrónico

Egresado de la Maestría en Control y Automatización Industriales

DIRIGIDO POR:

MARIELA CERRADA LOZADA, Ph.D.

Universidad de Los Andes, Mérida-Venezuela

Investigadora del Programa Prometeo



CUENCA – ECUADOR

2015

Datos de catalogación bibliográfica

LOJAN BERMEO EDGAR FERNANDO

**AUTOMATIZACIÓN DE LA LÍNEA DE ENSAMBLE DE
CONGELADORES E INGRESO DE PRODUCTO TERMINADO, EN
LA EMPRESA INDUGLOB S.A**

Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca – Ecuador, 2015

MAESTRÍA EN CONTROL Y AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIALES

Formato 170 x 240 mm

Páginas: 140

Breve reseña de los autores e información de contacto:

Autor:



EDGAR FERNANDO LOJAN BERMEO

Ingeniero Electrónico

Egresado de la Maestría en Control y Automatización Industriales

ing.edgar.lojan@hotmail.com

Dirigido por:



MARIELA CERRADA LOZADA, Ph.D

Universidad de Los Andes, Mérida-Venezuela

Investigadora del Programa Prometeo

cerradam@ula.ve

Todos los derechos reservados.

Queda prohibida, salvo excepción prevista en la Ley, cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública y transformación de esta obra para fines comerciales, sin contar con autorización de los titulares de propiedad intelectual. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual. Se permite la libre difusión de este texto con fines académicos o investigativos por cualquier medio, con la debida notificación a los autores.

DERECHOS RESERVADOS

©2015 Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca – Ecuador

LOJAN BERMEO EDGAR FERNANDO

AUTOMATIZACIÓN DE LA LÍNEA DE ENSAMBLE DE CONGELADORES E INGRESO DE PRODUCTO
TERMINADO, EN LA EMPRESA INDUGLOB S.A

IMPRESO EN ECUADOR – PRINTED IN ECUADOR

ÍNDICE GENERAL

1.	INTRODUCCION.....	1
1.1	Generalidades	1
1.2	Descripción del problema	2
1.3	Objetivos.....	3
1.3.1.	Objetivo General.....	3
1.3.2.	Objetivos específicos	3
1.3.3.	Metodología de desarrollo	3
1.4	Análisis del estado del arte	4
2.	AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL.....	11
2.1	Introducción.....	11
2.2	Los Fundamentos modernos de la automatización	13
2.2.1.	El automatismo secuencial	14
2.3	Niveles de Automatización.....	16
2.4	La pirámide de la Automatización: Concepto CIM.....	19
2.5	El Controlador Lógico Programable, PLC	23
2.5.1	Lenguajes de programación en un PLC.....	24
2.6	Interfaz Hombre Máquina	26
2.7	Sistemas de Control basados en PC.....	27
2.7.1	OPC UA.....	28
2.8	Sensores y Actuadores.....	29
2.8.1	Sensores	30
2.8.2	Actuadores	31
2.9	Redes de comunicación	31
2.10	Modelos para la conceptualización e implementación de sistemas de automatización.....	33
2.10.1	Metodología para el modelado de negocios BMM.....	33
2.10.2	GEMMA.....	36
2.10.3	Metodología de implementación de una automatización	38
3.	MODELADO DE PROCESOS Y GEMMA PARA LA LINEA DE ENSAMBLAJE	41
3.1	Descripción del proceso a automatizar	41
3.2	Modelo de procesos según BMM.....	43
3.2.1	Cadena de valor del negocio.....	43
3.2.2	Jerarquía del proceso	43

3.2.3	Diagramas de modelado de procesos.....	44
3.2.4	Diagramas de actividades de control	54
3.3	Diseño de la metodología GEMMA	70
4.	IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL AUTOMÁTICO	79
4.1	Arquitectura de implementación y comunicación	79
4.2	Configuraciones y programación del PLC	89
4.2.1	Configuración del Módulo de Ethernet	89
4.2.2	Programación del PLC.....	91
4.3	Configuración y Programación del panel operador, HMI	93
4.4	Configuración del lector de código de barras	96
4.5	Configuración del Servidor OPC.....	98
4.6	Programación de LabVIEW para el sistema de control basado en PC.....	101
4.6.1	Programación para la lectura del código de barras.	104
4.6.2	Programación para comunicación con el servidor OPC y PLC.....	105
4.6.3	Configuración de la base de datos local y comunicación con la base de datos del servidor de INDURAMA	107
5.	PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO Y PUESTA EN MARCHA	113
5.1	Pruebas de Funcionamiento del Lector de Código de Barras	114
5.2	Pruebas de funcionamiento HMI-PLC	115
5.3	Pruebas de funcionamiento entre el servidor OPC y PLC.....	118
5.4	Pruebas de funcionamiento del software desarrollado en LabVIEW	120
5.5	Puesta en marcha	123
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	135
6.1	Conclusiones.....	135
6.2	Recomendaciones	136
	BIBLIOGRAFÍA	137

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 <i>Convergencia de tecnologías en la automatización</i>	5
Figura 1.2 <i>Línea de ensamble de Cocinas</i>	7
Figura 1.3 <i>Línea de ensamble de Refrigeradoras</i>	8
Figura 1.4 <i>Línea de ingreso de producto terminado, de refrigeradoras y cocinas</i>	8
Figura 2.1 <i>Representación de los elementos de un proceso a automatizar</i>	12
Figura 2.2 <i>Diagrama de flujo que representa un automatismo secuencial</i>	15
Figura 2.3 <i>Ejemplo de un control centralizado</i>	17
Figura 2.4 <i>Ejemplo de un control multicapa</i>	17
Figura 2.5 <i>Ejemplo de un control de estructura distribuida</i>	18
Figura 2.6 <i>Modelo piramidal de la automatización</i>	21
Figura 2.7 <i>Distribución de tecnología y comunicaciones en los diferentes niveles de la pirámide de la automatización</i>	22
Figura 2.8 <i>Ejemplo de los lenguajes de programación para los PLCs</i>	25
Figura 2.9 <i>Interacción entre el operador y el proceso mediante una interfaz hombre-máquina</i>	27
Figura 2.10 <i>OPC basado en la arquitectura Cliente-Servidor</i>	29
Figura 2.11 <i>Ejemplo de LabVIEW como cliente OPC</i>	29
Figura 2.12 (a) <i>Celdas de carga en circuito de puente de Wheastone. (b) Celda de carga Industrial</i>	31
Figura 2.13 <i>Ejemplo de una aplicación red industrial entre controladores, dispositivos de campo y los sistemas de supervisión</i>	32
Figura 2.14 <i>Descomposición jerárquica de los proceso de negocio</i>	34
Figura 2.15 <i>Diagrama de descripción del proceso usando la notación UML Business de Eriksson y Penker</i>	35
Figura 2.16 <i>Representación convencional de la guía GEMMA</i>	37
Figura 3.1 <i>Esquema de la línea de ensamble de congeladores</i>	42
Figura 3.2 <i>Diagrama de la cadena de valor de la empresa INDUGLOB S.A</i>	43
Figura 3.3 <i>Descomposición de jerárquica de la cadena de valor para el proceso de Manufactura</i>	44
Figura 3.4 <i>Diagrama de descripción del proceso de manufactura</i>	45
Figura 3.5 <i>Diagrama de descripción del subproceso de Transformación</i>	46
Figura 3.6 <i>Diagrama de descripción del subproceso de Ensamble de congeladores</i> ..	47
Figura 3.7 <i>Diagrama de descripción del subproceso Colocado del compresor</i>	48
Figura 3.8 <i>Diagrama de descripción del subproceso colocado de puerta</i>	49
Figura 3.9 <i>Diagrama de descripción del subproceso: Soldadura de cañerías</i>	50

Figura 3.10 Diagrama de descripción del subproceso: Vacío y carga	51
Figura 3.11 Diagrama de descripción del subproceso Pruebas de laboratorio	52
Figura 3.12 Diagrama de descripción del subproceso Embalaje.....	53
Figura 3.13 Diagrama de descripción del subproceso: Validación para ingreso de producto a bodega.....	54
Figura 3.14 Diagrama de actividades del subproceso colocado de compresor.....	56
Figura 3.15 Diagrama de actividades del subproceso Colocado de puerta.....	57
Figura 3.16 Diagrama de actividades del subproceso Soldadura de cañerías	58
Figura 3.17 Diagrama de actividades del subproceso Vacío y Carga	59
Figura 3.18 Diagrama de actividades para el subproceso Pruebas de laboratorio	60
Figura 3.19 Diagrama de actividades de control para el subproceso Embalaje	62
Figura 3.20 Diagrama de actividades de control para el subproceso de validación de producto para ingreso a bodega, lectura del código de barras	64
Figura 3.21 Diagrama de actividades de control para el subproceso de validación de producto para ingreso a bodega, control del motor que lleva el producto hasta la balanza	66
Figura 3.22 Diagrama de actividades de control para el subproceso de validación de producto para ingreso a bodega, lectura del peso	67
Figura 3.23 Diagrama de actividades de control para el subproceso de validación de producto para ingreso a bodega, validación del producto, rechazo/ingreso del producto terminado	69
Figura 3.24 Grafico GEMMA de la Línea de ensamble de congeladores e ingreso a bodega	70
Figura 3.25 Graficet del modelo GEMMA de la línea de ensamble e ingreso a bodega	72
Figura 3.26 Resetear las salidas del PLC.....	75
Figura 3.27 Reseteo de temporizadores.....	75
Figura 3.28 Ejemplo del programa Ladder	76
Figura 3.29 Menú manual del HMI para controlar las bandas	76
Figura 3.30 Ejemplo de funcionamiento en modo automático, producción normal, para el motor de la cadena que lleva el producto para realizar el pesaje	77
Figura 3.31 Programa en caso de pulsar el botón de emergencia se pone el proceso en modo manual y se resetea el inicio de ciclo	78
Figura 3.32 Visualizar Alarma en el HMI	78
Figura 4.1 Configuración de hardware, PLC, Módulos de expansión y módulos especiales.....	80
Figura 4.2 Distribución física del PLC, módulos de expansión y módulos especiales.	80

Figura 4.3 Esquema de conexión para la comunicación Ethernet entre los dispositivos usados en la tesis	81
Figura 4.4 Arquitectura usada en el PLC para la lectura del estado de los sensores, balanza, y para comandarlas salidas hacia los actuadores, también se ilustra la comunicación entre el PLC y la PC	82
Figura 4.5 Esquema de conexión y cableado para el módulo de entradas analógicas Fx2N-4AD.....	82
Figura 4.6 Caja de Unión para las celdas de carga. SOEMER, modelo QLJ 67.1.....	83
Figura 4.7 Amplificador para la celda de carga con salida analógica. Modelo LAC 74.1	84
Figura 4.8 Esquema de comunicación y conexión para el lector de código de barras Datalogic, DS6300-105-012.....	85
Figura 4.9 Etiqueta que contiene el código de barras con la información del código del producto y número de serie	85
Figura 4.10 Esquema de distribución de sensores y motores en el puesto de validación del producto.....	86
Figura 4.11 Puesto para la validación del producto terminado, transfer 3	87
Figura 4.12 Línea de ensamble de congeladores.....	87
Figura 4.13 Tablero eléctrico que controla todo el proceso de ensamble e ingreso de producto terminado a bodega.....	88
Figura 4.14 Software FX Configurator-EN, presentación principal	90
Figura 4.15. Configuración realizada para el modulo Ethernet en el software FX Configurator-EN.....	91
Figura 4.16 Diagrama de casos de usos para programar el PLC.....	92
Figura 4.17 Ejemplo de programación en Ladder para la lectura del pulsante de emergencia y para el mando de la banda de Colocado de compresor.....	93
Figura 4.18 Configuración para la comunicación entre HMI y PLC.....	94
Figura 4.19 Diagrama de casos de usos para programar el HMI	95
Figura 4.20 Ejemplo de la HMI programada, en este caso del menú Automático	96
Figura 4.21 Diagrama de casos de usos para configurar el lector de código de barras (LCB)	97
Figura 4.22 Configuraciones realizadas en el lector de código de barras.....	98
Figura 4.23 Diagrama de casos de usos para configurar el servidor OPC	99
Figura 4.24 Configuración realizada al dispositivo, se verifica número de puerto, e IP configurada.....	100
Figura 4.25 Propiedades del Dispositivo configurado	100
Figura 4.26 Ejemplo de las TAGs Configuradas y monitoreadas	101

Figura 4.27 Máquina de estados para el programa de configuración de parámetros iniciales	102
Figura 4.28 Máquina de estado que realiza el proceso de validación	103
Figura 4.29 Diagrama de bloques programado en LabVIEW.....	105
Figura 4.30 Casos de uso para la programación de la comunicación entre LabVIEW y el servidor OPC	106
Figura 4.31 Dirección URL para la TAG en el servido OPC “PesoLeido”	106
Figura 4.32 Ejemplo que muestra al indicador de peso, configurar la opción “Data Binding Selection” mediante DataSocket.....	107
Figura 4.33 Ejemplo de cómo se cargó la dirección URL desde la “shared variable” en el indicador de peso	107
Figura 4.34 Esquema de comunicación entre LabVIEW y MySQL	108
Figura 4.35 Diagrama de casos de uso para crear las tablas y establecer conexión con la base de datos de MySQL	109
Figura 4.36 Base de datos en MySQL, esquema “prod_terminado” y tablas dentro del esquema: bd_congeladores y bd_productos_congeladores	110
Figura 4.37 Configuración del conector ODBC de MySQL.....	110
Figura 4.38 Máquina de estados para actualizar los datos de los productos ingresados a bodega a la BD del servidor de Indurama y a la BD local	111
Figura 4.39 Estado “Grabar datos local” de la máquina de estados de la Figura 4.38 que permite actualizar los datos en la tabla bd_productos.....	111
Figura 5.1 Diagramas de casos de uso para las pruebas de funcionamiento del lector de códigos de barras, PLC y HMI-PLC	113
Figura 5.2 Etiqueta para realizar la prueba de funcionamiento del lector de códigos de barras.....	114
Figura 5.3 Lector leyendo el código de barras.....	114
Figura 5.4 Código leído por el lector	115
Figura 5.5 Monitoreo online en el software de programación del PLC que permite visliazar el estado del programa	115
Figura 5.6 HMI seleccionando el modo automático e inicio de ciclo	116
Figura 5.7 Parte del programa del PLC que muestra el funcionamiento d la banda donde se realiza el proceso de colocado del compresor, motor encendido	117
Figura 5.8 Parte del programa del PLC que muestra el funcionamiento de la banda donde se realiza el proceso de colocado del compresor.	117
Figura 5.9 HMI visualizando el tiempo transcurrido de encendido de las bandas de ensamble	118
Figura 5.10 Diagramas de casos de uso para realizar las pruebas de funcionamiento ente el PLC y el OPC.....	119

Figura 5.11 Pruebas de funcionamiento realizado para la TAG “PesoLeido”	120
Figura 5.12 Pruebas de funcionamiento entre LabVIEW y el lector de códigos de barras	120
Figura 5.13 Diagrama de caos de uso para realizar las pruebas de funcionamiento entre LabVIEW y la base de datos.....	121
Figura 5.14 Prueba para verificar comunicación con la base de datos.....	122
Figura 5.15 Prueba de comunicación entre LabVIEW y el OPC server	122
Figura 5.16 Banda donde se realiza el subproceso “colocado del compresor”	123
Figura 5.17 Banda donde se realiza el subproceso “Colocado de puerta”	124
Figura 5.18 Banda donde se realiza el proceso “Soldadura de cañerías”	124
Figura 5.19 Banda donde se realiza el subproceso “Vacío y carga”	125
Figura 5.20 Banda donde se realiza el subproceso “Pruebas de laboratorio”	125
Figura 5.21 Banda donde se realiza el subproceso “Embalaje”	126
Figura 5.22 Lugar donde se realiza el subproceso “Validación para ingreso del producto a bodega”	126
Figura 5.23 Pasos para ejecutar la aplicación de validación del producto terminado	127
Figura 5.24 Ventana principal de la aplicación que valida el producto terminado...	128
Figura 5.25 Producto ingresando al proceso de validación, se lee el código de barras del producto.....	129
Figura 5.26 Aplicación de validación recibe las señales del PLC a través del servidor OPC.....	129
Figura 5.27 Aplicación de validación del producto terminado, ha leído el código de barras y está en espera de la lectura del peso del producto	130
Figura 5.28 Validación del producto terminado, no cumple especificaciones de peso	130
Figura 5.29 Producto rechazado en la validación del producto	131
Figura 5.30 Validación del producto terminado, el producto ha sido validado exitosamente	131
Figura 5.31 Producto validado correctamente, ingresa a bodega	132
Figura 5.32 Actualizar base de datos	132
Figura 5.33 Base de datos actualizada.....	133

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1 Elementos utilizados en el subproceso colocado de compresor.....	55
Tabla 3.2 Elementos utilizados en el subproceso colocado de puerta	56
Tabla 3.3 Elementos utilizados en el subproceso soldadura de cañerías	57
Tabla 3.4 Elementos utilizados en el subproceso vacío y carga	58
Tabla 3.5 Elementos utilizados en el subproceso pruebas de laboratorio	59
Tabla 3.6 Elementos utilizados en el sub proceso embalaje	61
Tabla 3.7 Elementos utilizados en la actividad de control para la lectura del código de barras	63
Tabla 3.8 Elementos utilizados en la actividad de control para el motor de la cadena del transfer 3.....	65
Tabla 3.9 Elementos utilizados en la actividad de control para la lectura del peso	66
Tabla 3.10 Elementos utilizados en la actividad de control para la validación del producto.....	68
Tabla 3.11 Transiciones asociadas al Grafcet	73
Tabla 3.12 Descripción de los contactos y bobinas del Ladder que se muestra en la Figura 3.26.....	74

DEDICATORIA

Dedico este presente trabajo a mi familia, en especial a mis padres, a mi mujer y a mi querida hija, gracias por toda la comprensión y el apoyo.

Ing. Edgar Fernando Lojan Bermeo

PREFACIO

En este trabajo de tesis se presenta el diseño y la implementación de un sistema de monitoreo y control para la línea de ensamble de congeladores y de la validación del producto terminado para el ingreso de mismo a bodega en la empresa INDUGLOB S.A, utilizando metodologías de conceptualización que permiten abordar el tema de la automatización de una manera metodológica y eficiente.

Las metodologías usadas en este presente trabajo son: el modelado de procesos de negocios BMM, enfocada en este caso para la automatización a nivel de planta, en la que se establece la cadena de valor, los proceso de negocio y el diagrama de actividades, usando como base la metodología METAS. BMM, ayuda a realizar el levantamiento de la información del proceso a automatizar. También se usó la metodología GEMMA para analizar los posibles estados de marcha y parada que puedan hallarse dentro del proceso, uniendo las dos metodologías, BMM y GEMMA, se logró establecer los requerimientos de instrumentación y comunicación que posteriormente sirven para realizar la implementación en el PLC y también desarrollar una aplicación en la PC para la validación del producto terminado.

Los resultados obtenidos servirán como base de apoyo para implementaciones futuras en área de la automatización industrial en procesos similares, sobre todo en el área de la manufactura, usando las metodologías aprendidas. De igual manera, servirá de base para continuar con la automatización integrada de la empresa INDUGLOB S.A.

PRÓLOGO

En este trabajo de tesis se presenta el diseño y la implementación de un sistema de monitoreo y control para la línea de ensamble de congeladores y de la validación del producto terminado para el ingreso de mismo a bodega en la empresa INDUGLOB S.A, el cual está dividido en 5 capítulos, con el objetivo de dar a conocer los conceptos teóricos necesarios y finalmente entender cómo se logró el diseño y la implementación del sistema automatizado.

En el capítulo 1, se presenta el objetivo general y los objetivos específicos, además del estado del arte de los procesos de automatización en la industria de electrodomésticos.

En el capítulo 2, se aborda el tema de la automatización industrial, desde los fundamentos modernos de la automatización, los niveles de la automatización existentes, la pirámide de la automatización industrial, con el objetivo de indicar en qué nivel y jerarquía de la automatización aborda este presente trabajo; hasta llegar a los modelos de conceptualización que permitirán establecer las metodologías para realizar un proceso de automatización más eficiente, como BMM y GEMMA.

En el capítulo 3, se desarrolla el modelado de procesos de negocios BMM y GEMMA, aplicado a la línea de ensamble de congeladores. BMM permite realizar el levantamiento de la información, estableciendo la cadena de valor y la descomposición de la misma en la jerarquía de procesos hasta llegar a establecer los diagramas de actividades para cada subproceso. Con los resultados obtenidos de BMM, específicamente con el diagrama de actividades, se procede al diseño de la lógica de control usando la guía GEMMA, que permite establecer los modos de marcha y parada del proceso automatizado, para que después se realice su implementación en el PLC.

En el capítulo 4, se presenta la implementación del sistema de control automático, donde se podrá observar la arquitectura de implementación y comunicación, las configuraciones necesarias, la programación del PLC, HMI y del sistema de control basado en PC, realizado en LabVIEW.

En el capítulo 5, finalmente se presenta las pruebas de funcionamiento y las puestas en marcha, del sistema automatizado.

AGRADECIMIENTO

Agradezco en primer lugar a Dios por darme la fuerza y la paciencia necesaria. A toda mi familia por su apoyo y comprensión.

Un agradecimiento especial a la Dra. Mariela Cerrada por su acertada dirección, por su tiempo y apoyo para el desarrollo de esta tesis.

También agradezco a la empresa INDUGLOB y a sus colaboradores por las facilidades y el apoyo prestado.

Al Ing. Eduardo Calle y a todos los amigos por su apoyo.

Ing. Edgar Fernando Lojan Bermeo

CAPÍTULO 1

INTRODUCCION

1.1 Generalidades

La continua evolución de la industria ha permitido desarrollar nuevas técnicas, metodologías y tecnologías para mejorar los procesos de producción, es así que hoy en día, se habla ya de una nueva era industrial, a la cual se le ha bautizado como la Industria 4.0 (Festo, 2015), donde los mundos real y virtual se fusionan a través de las nuevas tecnologías de la información y comunicación. Dentro de estos conceptos no solamente se toma en cuenta el aspecto tecnológico sino, también, la cooperación entre los seres humanos y las máquinas, de tal manera que el hombre interactúe directamente con las nuevas tecnologías existentes (InfoPLC, 2014).

Es importante, entonces, recalcar el trabajo que los ingenieros electrónicos y de sistemas, que están enfocados al área de la automatización industrial, tenemos por delante.

La empresa INDUGLOB S.A ubicada en la ciudad de Cuenca, Ecuador, nace en el año de 1972, con el propósito de producir electrodomésticos que cumplan los más altos estándares de diseño, construcción y tecnología, para lo cual cuenta con diferentes áreas encargadas de cumplir con este objetivo (Indurama, 2014). Adicionalmente, cuenta con certificados de calidad ISO9001 y sellos INEN para refrigeradoras, cocinas y congeladores, entre otros certificados adicionales (Indurama, 2014), además de manejar una estricta política de gestión ambiental basándose en la NORMA ISO 14001.

Actualmente, los productos que se fabrican en la empresa se comercializan a nivel nacional a través de las más grandes cadenas de distribución y mayoristas. En cuanto a la exportación de los productos se realiza desde el año de 1992 a varios países latinoamericanos, entre los cuales están Perú, Chile, Guatemala, Colombia entre otros, (Indurama, s.f.), cumpliendo con las normas que exigen cada país.

En la actualidad se está utilizando, también, con la norma BASC (*Business Alliance for Secure Commerce* ó Alianza Empresarial para un comercio seguro) que trata de asegurar y controlar que los productos a exportarse no se expongan a contaminación, refiriéndose a drogas y/o contrabando (AmCham Guayaquil, 2013).

La empresa INDUGLOB S.A cuenta con diferentes secciones encargadas de transformar la materia prima en el producto final, entre las cuales están las líneas de ensamble de cocinas (a gas y de inducción), refrigeradoras, congeladores y televisores.

El presente trabajo de tesis plantea la automatización de la línea de ensamble de los congeladores y el ingreso de este producto terminado a la bodega, para su logística y posterior carga a los diferentes contenedores para su distribución, para lo cual se tendrá que usar varios componentes eléctricos y electrónicos para el control de la línea de ensamble e ingreso, como PLCs, HMI, sensores, detectores, entre otros, adicionalmente del conocimiento en programación y normativas.

Específicamente, se aborda el análisis, diseño, y la implementación de un sistema de control automático usando como marco de desarrollo un conjunto de metodologías existentes, para la conceptualización e implementación de sistemas de automatización industrial, que parten de la definición de la cadena de valor del proceso. El uso de estos marcos metodológicos permitirá enfocar de una mejor manera la forma que se realiza el proceso de una automatización industrial.

1.2 Descripción del problema

Actualmente, el proceso de ensamble de la línea de congeladores e ingreso de estos a la bodega de producto terminado se realiza de forma manual, es decir, empujando los productos sobre rodillos, de un puesto de trabajo al otro y cuando se tiene ya el producto terminado, se almacena temporalmente hasta completar un pequeño lote.

Para ingresar los productos toman a cuatro personas, que realizan otras tareas, de los cuales tres se dedican a ingresar y contar los productos que se entregan a bodega y la cuarta persona se dedica a la lectura del código de barras, en el cual se debe leer el código del producto y número de serie, verificando de modo visual dicha lectura; igualmente, en bodega el producto es recibido por dos personas más quienes verifican que el producto este en buenas condiciones; toda esta tarea toma alrededor de 45 minutos y se realiza tres veces por turno.

Adicionalmente, no se verifica el peso del producto, actualmente esto es necesario ya que la empresa cuenta con la certificación BASC, que básicamente promueve el comercio seguro en cooperación con gobiernos y organismos internacionales para evitar la contaminación de los productos con contrabando y/o drogas. La lectura del peso también ayuda a la comprobación de colocación de todos los componentes que van dentro del congelador. Se necesita tener un registro del producto con el peso de ingreso, su código y serial, para usos posteriores y respaldo de la empresa.

Así pues, el problema fundamental es la operación completamente manual que tiene la línea de ensamblaje actualmente, justificando de esta manera el análisis, diseño e implantación de un sistema automatizado asistido por una panel operador (HMI) que permita introducir parámetros de control tales como el tiempo de encendido de la banda de ensamble, como monitorización del estado de las bandas, estado de operación (manual/automático), alarmas, entre otros.

1.3 Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Implementar un sistema automatizado de monitoreo y control de la línea de ensamble de congeladores e ingreso de producto terminado en la empresa INDUGLOB S.A.

1.3.2. Objetivos específicos

- Identificar las necesidades del área de producción para la fabricación de congeladores, considerando el escenario actual del ensamble e ingreso del producto terminado a bodega.
- Modelar los procesos de la línea de ensamblaje e ingreso en bodega, usando las metodologías existentes para modelado empresarial.
- Modelar los modos de marcha y parada de los procesos involucrados,
- Determinar los requerimientos de instrumentación y comunicación.
- Diseñar las secuencias de control según los modos de marcha y parada, usando un formalismo de modelado para los sistemas de manufactura.
- Implementar el sistema de monitoreo y control según las normas y la experiencia propia dentro del área industrial.
- Realizar las pruebas de funcionamiento y correcciones necesarias.

1.3.3. Metodología de desarrollo

Para cumplir cada uno de estos objetivos específicos, se realizaron las siguientes tareas:

- Para modelar los procesos de la línea de ensamble e ingreso a bodega, se usó el modelado de procesos de la metodología BMM para establecer las funcionalidades deseadas de los procesos en la línea de ensamblaje, permitiendo la detección de necesidades de instrumentación, control y comunicación.
- A partir de los lineamientos planteados por el área de producción y el modelado de procesos, se realizó el análisis para el diseño de la solución que mejor se acople al escenario actual, tomando en cuenta los tiempos de funcionamiento de cada banda transportadora, tiempo de pausa y la secuencia de funcionamiento.
- Para el modelado de marchas y paradas se usó la metodología GEMMA, estableciendo los diferentes procedimientos de funcionamiento, paradas y puestas en marcha, de defecto.
- Para determinar los requerimientos de instrumentación y comunicación, se definieron:

- Entradas y salidas a usarse, para el dimensionamiento del Controlador Lógico Programable, PLC.
- Sensores y detectores.
- Interfaz de Usuario, HMI.
- Software necesario.
- Cables, motores, actuadores.
- En cuanto al diseño de las secuencias de control, según los modos de marcha y parada definidos usando GEMMA , se realizó la programación del PLC en lenguaje Ladder, tomando en cuenta las sugerencias de la norma IEC 61131-3 (IEC, 2003).
- Para la implementación del sistema de monitoreo y control se determinaron las necesidades de comunicación e intercambio de información vía Ethernet entre el PLC, el software de desarrollo, LabVIEW en este caso, el resto de la instrumentación.
- Se crearon las bases de datos locales necesarias.
- Se configuraron los dispositivos sensores requeridos.
- Se configuraron las conexiones de comunicación requeridas.

En los capítulos siguientes se detallarán cada uno de los puntos mencionados anteriormente.

1.4 Análisis del estado del arte

Las industrias de electrodomésticos se encargan de la producción de la línea blanca y de aparatos eléctricos menores; la línea blanca hace referencia a toda la parte de cocinas, refrigeradores, congeladores, lavadoras, entre otros, es decir, a todos los aparatos de línea blanca grandes, mientras que los aparatos eléctricos menores o también llamados enseres eléctricos menores son, por ejemplo, las licuadoras, planchas, entre otros, es decir, electrodomésticos de tamaño menor (Varela & Jácome, 2011).

Todos estos procesos de producción involucran fabricar y ensamblar dichos productos, ya sea de la línea blanca o de enseres eléctricos menores, por lo tanto es necesario contar con empresas que permitan realizar esta tarea de forma eficiente y con alta calidad. En el Ecuador, actualmente, son cuatro empresas las que lideran el ensamblaje de la línea blanca, específicamente hablando de cocinas y refrigeración, estas son: Mabe, Indurama, Durex y Ecogar, (Varela & Jácome, 2011).

La visión general que se tiene de la producción nacional de la línea blanca según (Varela & Jácome, 2011) se ha incrementado en un 76.77% entre el año 2005 a 2010, esto gracias a la innovación, políticas de eficiencia energética y de la gestión ambiental y la utilización de nuevas tecnologías, logrando una reducción en los costos de producción y obteniendo mayores beneficios dentro del mercado con mayor cantidad de productos y a precios más bajos.

La elaboración de los electrodomésticos involucra varios procesos que empieza desde la transformación de la materia prima hasta obtener un producto final para la venta, como se puede observar en (Discovery Max, 2014). En cuanto a las líneas de ensamble, generalmente cuando se trata de implementarlas, en los procesos que se necesiten, las industrias optan por comprarlas a empresas externas que se dedican a la construcción y automatización de las mismas, el modelo de las bandas transportadoras dependerá del uso que se le vaya a dar, (Gómez, 2005). Muy pocas empresas se encargan por si mismas de automatizar sus procesos de ensamble.

En las líneas de ensamble se arman y/o colocan las partes de las piezas fabricadas en otros procesos, existen por lo tanto, varias estaciones de trabajo, siendo tareas repetitivas las que se realizan en dichas estaciones. Además las líneas de ensamble deben estar balanceadas, es decir, que se deben suministrar a tiempo los productos que pasan de una estación de trabajo a otra, de tal forma que se reduzcan al mínimo los tiempos muertos y se utilicen de forma óptima tanto los recursos del personal como de las instalaciones, (Heizer & Render, 2009). Para esto generalmente se sigue una secuencia de funcionamiento en cada estación de trabajo.

Como se había mencionado en párrafos anteriores, existen varios fabricantes de líneas de ensamble, pero en este caso, lo que se pretende en este presente trabajo es automatizar la línea de ensamble de congeladores, tomando en cuenta todos los requerimientos que necesite el departamento de ingeniería de producción.

Cuando se habla de automatizar un proceso de manufactura, se dice que convergen tres tecnologías: la mecánica, la electrónica y la informática, permitiendo de esta manera la integración de dichas tecnologías, como se ilustra en la Figura 1.1. Cuando se automatiza se genera directamente un impacto sobre la producción, mejorando los estándares de calidad, disminución de pérdidas en la producción, disminuir trabajos repetitivos, entre otros, de ahí la importancia de la automatización (Córdoba Nieto, 2006).



Figura 1.1 Convergencia de tecnologías en la automatización
Fuente: (Córdoba Nieto, 2006)

Existen algunas metodologías que ayudan a conceptualizar de mejor manera el proceso que se desea automatizar. La automatización puede darse desde los procesos que se realizan en planta hasta un nivel corporativo, integrando la información entre los diferentes sistemas ya sea de forma horizontal o vertical, logrando mejorar la eficiencia en los negocios, (Montilva & Chacón, 2002).

En recientes trabajos de investigación se está optando por trabajar con el método de modelado de negocios o BMM por sus siglas en inglés (*Business Modeling Method*) aplicado, en la mayoría de los casos, para el desarrollo de software y sistemas de información empresarial. Con esta metodología se trata de adquirir y representar los conocimientos sobre los procesos industriales, dentro de los cuales se establecen fines, reglas de negocio, tecnologías, procesos de negocio, objetos de negocio, actores, estructura organizacional y eventos, teniendo como ventaja la facilidad en la explicación, comprensión y la aplicación del método descrito (Montilva & Barrios, 2004).

En este presente trabajo de tesis, se aplicará esta metodología BMM, pero enfocada hacia la automatización a nivel de planta, estableciendo la cadena de valor, los procesos de negocio y el diagrama de actividades, en este caso, de control. Esto forma parte de la primera fase para implementar un método para la automatización integral de sistemas de producción continua, denominado METAS, (Montilva, Chacon, & Colina, 2000).

Después de definir el modelo de negocios y los diagramas de actividades de control, se procede al diseño de los modos de marcha y paros, usando la metodología GEMMA, que es una gran ayuda para resolver problemas complejos de automatización y definir los modos de operación del proceso industrial a automatizar. La metodología GEMMA permite abordar temas interesantes como el comportamiento del operario dentro del proceso de automatización, también la comunicación entre los dispositivos electrónicos, permitiendo de esta manera obtener todos los modos de funcionamiento, marcha y paro del control secuencial, en otras palabras el funcionamiento correcto junto al funcionamiento ante anomalías, tratando también situaciones de emergencia. (Ponsa, Vilanova, & Díaz, 2007), (Alvarez, Burgos, Sarachaga, Estévez, & Marcos, 2014), (Ponsa, Vilanova, & Amante, 2011).

La empresa INDUGLOB consciente de la necesidad de mejorar su productividad y eficiencia, en la elaboración de los electrodomésticos y procesos en general, ha apostado fuertemente por la automatización de sus procesos, sin dejar de tener en cuenta la parte laboral humana para generar plazas de empleos; es así que se ha creado el departamento de proyectos mecánicos y automatización, hace ya 5 años, con la finalidad de poder construir y automatizar las maquinarias que se necesiten para los diferentes procesos dentro de la planta. Es por eso que es considerada como unas de las empresas pioneras en esta área de la construcción y automatización de maquinarias propias. Por tanto, que se hace necesario contar con las herramientas técnicas y teóricas para realizar un correcto trabajo de automatización, es decir, al momento de concebir el proyecto y empezar con el pre-diseño o diseño tomar en cuenta los equipos y materiales necesarios

considerando el ambiente industrial en el que se va a trabajar, el grado de protección de los equipos, robustez, entre otros, (Barreto, 2012).

En la empresa INDUGLOB S.A tiene ya automatizada la línea de ensamble de cocinas y refrigeradoras, también el ingreso de éstos a la bodega de producto terminado. Estas líneas de ensamble han sido construidas por fabricantes externos, extranjeros.

En la Figura 1.2 se muestra la línea de ensamble de cocinas, en la Figura 1.3 se puede observar la línea de ensamble de refrigeradoras, en ambas se trabaja de modo parecido a lo que se pretende hacer en la línea de congeladores, es decir mediante tiempos de funcionamiento y pausa. En la Figura 1.4 se puede observar la línea de ingreso de producto terminado, en la que se trasladan las refrigeradoras y cocinas, para posteriormente leer el código de barras de cada producto y tomar el peso, según esto, se permitirá que el producto pase a bodega o sea rechazado.

En cuanto a la línea de ensamble de congeladores, en un principio contaba simplemente con varios sectores en donde se ensamblaban las partes del congelador llevándose de forma manual de un sector al otro, esto debido básicamente a la baja producción de dichos congeladores. Poco a poco ha ido incrementándose la demanda y se ha visto la necesidad de realizar todos los procesos que implican el ensamble de una forma más eficiente y automática, para el traslado de un puesto al otro, tomando en cuenta la experiencia que ya se ha tenido en las líneas de ensamble de cocinas y refrigeradoras.



Figura 1.2 Línea de ensamble de Cocinas

Fuente: Cortesía de INDUGLOB S.A



Figura 1.3 Línea de ensamble de Refrigeradoras
Fuente: Cortesía de INDUGLOB S.A



Figura 1.4 . Línea de ingreso de producto terminado, de refrigeradoras y cocinas
Fuente: Cortesía de INDUGLOB S.A

Esta experiencia descrita sobre la automatización de la línea de ensamble de refrigeradores y cocinas en la empresa INDUGLOB, sirve de antecedente exitoso para continuar con esta iniciativa en la línea de ensamble de congeladores. Para ello ya se cuenta con trabajo adelantado en el armado de las bandas transportadoras para la línea de ensamble y en la construcción de los transfers y bandas faltantes, de tal manera que

permita ensamblar en línea todos los pasos mencionados anteriormente y también agregar la lectura del código de barras de cada producto, leyendo el código y número de serie, detectar el peso para luego decidir si el producto debe ser ingresado a bodega o debe ser rechazado. En caso de rechazo, se procede a analizar qué problema tiene, qué le falta o qué está demás. Todos estos datos se envían a una computadora que va a tener una aplicación que permita visualizar los productos ingresados y rechazados, cargar a una base de datos local y enviar a la base de datos de INDUGLOB los productos ingresados, para que posteriormente se realice la terminación del producto a través del software de planificación JDE Edwards.

CAPÍTULO 2

AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL

2.1 Introducción

La automatización de los procesos industriales es un área que está en pleno desarrollo y que representa el objetivo principal de los sectores industriales, ya que permite la integración de tecnologías, tanto en software como en hardware, logrando mejorar la productividad de las empresa y reducir los costos de fabricación, mejorando también la calidad de sus productos, flexibilidad al cambio y la seguridad laboral, (Garcia Moreno, 1999), (Fundación ASCAMM, 2007).

Se podría definir, entonces, la automatización industrial como el uso de técnicas y elementos computarizados, que involucran la aplicación e integración de los diferentes sistemas, permitiendo controlar un proceso de forma autónoma o automática, mejorando así, la productividad, confiabilidad y calidad de dicho proceso (Garcia Moreno, 1999). Cabe destacar que, con los avances en la microelectrónica y del computador, ha sido posible obtener un mayor nivel de integración entre los procesos productivos y los niveles de toma de decisiones.

Todo proceso que se desee automatizar es necesario que tenga un conjunto de elementos que cumple su respectiva función dentro de dicho proceso, como se ilustra en la Figura 2.1, (Aragonès, Saigí Grau, & Zabaleta Alañà, 1998), donde se indican diferentes elementos que describen a continuación.

Los elementos de entradas de órdenes son los que permiten ingresar al operador los datos y “órdenes” al sistema de control, los cuales pueden ser binarios, numéricos o alfa numéricos. Dichos datos pueden ser ingresados a través de pulsantes, selectores, botones, o lo más fácil rápido y elegante es usando los paneles HMI¹, que evitan tanto cableado.

Los elementos de entrada de información hacen referencia a todos los detectores, sensores, fines de carrera, entre otros, que le indiquen al sistema de control el estado del proceso que está controlando, en otras palabras es la retroalimentación del proceso.

Los elementos de salida de información, por otro lado se encargan de comunicar al operador el estado del proceso, a través de visualizadores como balizas, avisos sonoros, o también mediante los HMI.

¹ HMI: Human Machine Interface, por sus siglas en inglés, permiten interactuar entre el operador y el sistema de control del proceso.

Los pre-accionadores y accionadores se encargan de actuar en el proceso, ya sea mediante los motores, pistones, válvulas, niquelinas, entre otros. Los pre-accionadores hacen referencia a los elementos que son necesarios para controlar los accionadores, por ejemplo los contactores, electroválvulas, entre otros.

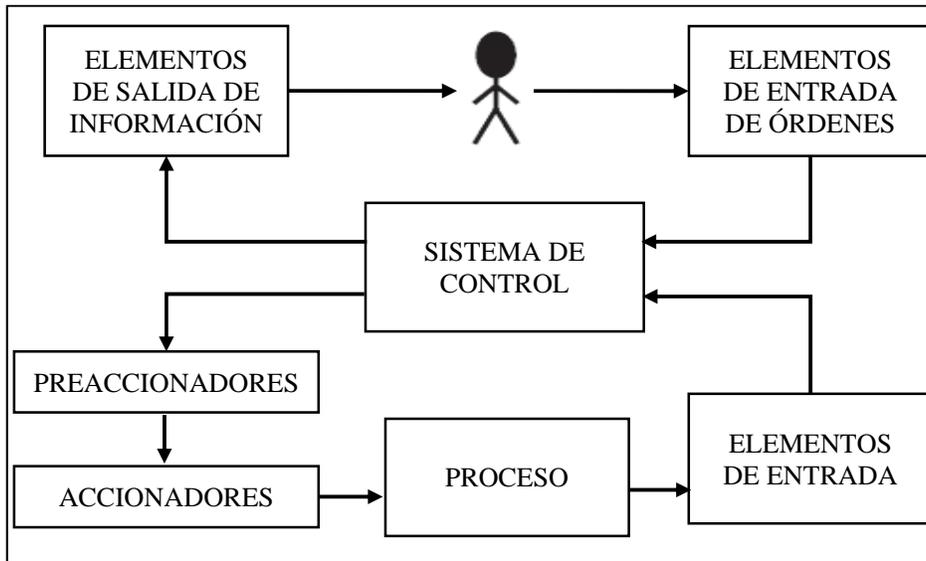


Figura 2.1 Representación de los elementos de un proceso a automatizar
Fuente: (Aragonès, Saigí Grau, & Zabaleta Alañà, 1998)

El sistema de control, es el que se encarga del tratamiento de la información y de realizar toda la lógica para poder controlar el proceso de manera óptima y confiable. Para esto existen algunas maneras de realizarlo, ya sea mediante micro-controladores, el uso de autómatas programables o PLC (Controlador Lógico Programable), PCs Industriales y PACs (Controladores de Automatización Programable) u otro sistema embebido.

El proceso, obviamente, es lo que se tiene que automatizar o controlar y debe ser en realidad el primer paso a analizarse, en cuanto a definir o empaparse bien del proceso que se desea automatizar, es decir, realizar un levantamiento de la información, para lo cual es útil el uso de metodologías como BMM

Mas adelante se discutirán los elementos usados en este presente trabajo de tesis, en los cuales se detallará las características de los mismos.

Una de las aplicaciones que mayor éxito ha tenido el PLC dentro de los ambientes industriales, es la combinación entre el PLC y los sistemas electro-neumáticos y que ha permitido obtener soluciones en campos basados en el posicionamiento, movimiento, vacío, troquelados, entre otros.

Por otro lado, en cuanto al diseño del sistema de automatización, como tal, se debe contar con metodologías que permitan conceptualizar y abordar de una mejor manera el proceso a automatizar. Existen algunas metodologías que se aplican según el campo donde se vaya a realizar la automatización, es decir, según el tipo de proceso, ya sean estas continuas, discontinuas o secuenciales, por lotes (batch) y para altos volúmenes de producción, también dependerá del nivel de integración que se desee lograr, refiriéndose a si se desea también automatizar los sistemas de información empresarial, es decir, a nivel de software (García Moreno, 1999), (Alvarez, Burgos, Sarachaga, Estévez, & Marcos, 2014), (Montilva, Chacon, & Colina, 2000).

En este presente trabajo de tesis, se estudia el método de modelado de negocios o BMM, posteriormente, se usa los resultados obtenidos para aplicar la metodología llamada guía GEMMA que estudia los modos de marcha y parada, finalmente se estudia cómo lograr la implementación en un PLC, basados en el resultado de las metodologías mencionadas anteriormente. Todo esto como parte de la conceptualización y modelado del sistema automático que se desea implantar

2.2 Los Fundamentos modernos de la automatización

Algunos procesos automáticos han podido ser observados desde los tiempos antiguos, donde se trataba de simular el movimiento de seres vivos, o de minimizar esfuerzos físicos utilizando alguna máquina, pero se podría decir que la era moderna de la automatización empieza con la aparición de la máquina de vapor de simple efecto en el año de 1775 inventada por James Watt, para 1784 se inventa la máquina de doble efecto que permitía controlar la distribución del vapor y un regulador de velocidad ante fluctuaciones en la carga y sucesivamente ha ido evolucionando y reinventándose hasta la era actual, (Chacón, 2014), (García Moreno, 1999).

Actualmente la automatización se podría definir como la agrupación de disciplinas tanto teóricas como tecnológicas que permiten la concepción, construcción y el empleo de sistemas automáticos con la finalidad de sustituir al operador humano en tareas físicas pesadas y peligrosas, (Córdoba Nieto, 2006) (García Moreno, 1999).

La automatización teórica es todo un conjunto de métodos y análisis matemáticos, del estudio de los sistemas automáticos y de cada uno de sus elementos, mientras la parte práctica estudia la aplicación de la tecnología para resolver los problemas que se dan o se podrían dar dentro del ambiente automático, como puede ser sensores, detectores, ordenadores, entre otros, (García Moreno, 1999).

Se podría decir que la automatización ha ido evolucionando conforme también lo ha hecho la tecnología, cada vez se consiguen procesos industriales más autónomos, donde prácticamente la manipulación por parte de un operador humano es casi nula, la incorporación de la robótica industrial, el control mediante ordenadores, es cada día más común, (Festo, 2008).

La alta demanda en la industria actual por sistemas de control económico, robusto, flexibles, escalables y que permitan trabajar con facilidad y seguridad frente a corrientes y tensiones fuertes, permitió desarrollar los autómatas programables industriales, conocidos también como PLC, (Balcells & Romeral, 2000).

Bajo el concepto matemático de que un autómata está constituido por un conjunto de reglas que definen estados y las condiciones para los cambios de estado, en los automatismos secuenciales, la información de dichos estados son captados, en su gran mayoría, por elementos lógicos binarios, por lo tanto el análisis de la información es también lógica. El programa dentro de este tipo de autómata está hecho por secuencias de operaciones, enlazadas unas con otras bajo un conjunto de reglas lógicas. Estos tipos de sistemas son los que se encuentran en la gran mayoría de los automatismos industriales, que están dedicados a la fabricación, (García Moreno, 1999), (Balcells & Romeral, 2000), (Love, 2007).

Cabe destacar que existen otros sistemas de automatización que permiten tratar la información de otra manera, como los servosistemas, los sistemas adaptativos y los sistemas autodidácticos o de auto-aprendizaje, (García Moreno, 1999).

2.2.1. El automatismo secuencial

Debido a que el presente trabajo está enfocado hacia este tema, se prestará mayor atención los automatismos secuenciales. Un automatismo secuencial, se define como un sistema en el cual su funcionamiento se basa en unas secuencias claramente establecidas y diferenciables, que se rigen en un conjunto de reglas preestablecidas. Las transiciones que ocurren dentro del autómata adoptan condiciones lógicas, en algunos casos complejos, con el fin de provocar cambios de estado del sistema que se está controlando. (García Moreno, 1999). Se podría decir, entonces, que un automatismo secuencial depende de las variables de entrada y de un estado inicial del sistema, todas estas variables de entrada y las transiciones que ocurren internamente pueden ser memorizadas dentro de las variables internas denominadas variables de estado, (Balcells & Romeral, 2000).

Dentro de los sistemas lógicos también constan los automatismos combinacionales que se diferencian de los secuenciales en que básicamente las salidas al sistema controlado dependerán del estado de sus entradas directamente, sin depender de cual sea el estado inicial, (Balcells & Romeral, 2000).

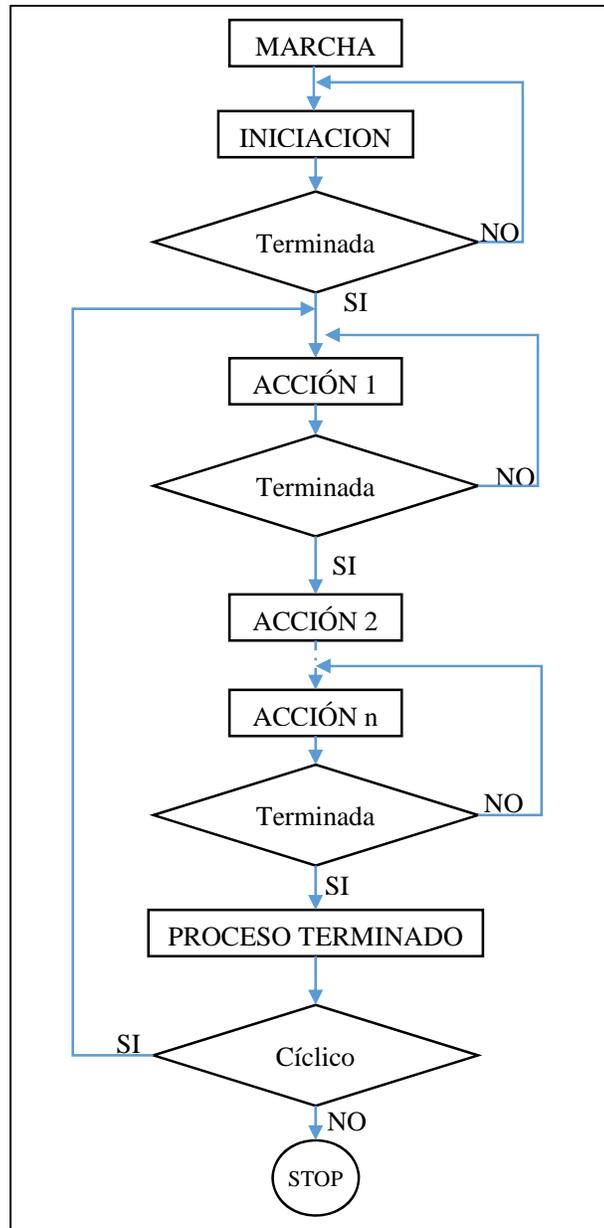


Figura 2.2 Diagrama de flujo que representa un automatismo secuencial

Fuente: (Balcells & Romeral, 2000)

En la práctica, existen muchos procesos que implican que se siga una determinada secuencia de funcionamiento, dichas actividades pueden ser de diferente naturaleza, en

las cuales se pueden incluir partes lógicas, analógicas, cálculos aritméticos, manejo de datos, entre otros, pero el proceso en sí, obedece a una sucesión encadenada de operaciones, controladas por unas condiciones lógicas, que permitirán controlar la secuencia lógica de funcionamiento, (Balcells & Romeral, 2000). En la Figura 2.2 se ilustra un diagrama de flujo que representa el comportamiento de un automatismo secuencial.

Cabe resaltar que los automatismos secuenciales combinan también partes combinatorias, formando un sistema híbrido, lo cual indica que un sistema puramente secuencial no existe, debido a que están formados por bloques combinatorios y bloques de memoria interconectados. Es por eso que, una de las herramientas usadas para el diseño del automatismo secuencial sea el álgebra lógica, aunque vale mencionar que solamente los métodos algebraicos no son suficientes para el desarrollo de dichos sistemas, (Balcells & Romeral, 2000).

2.3 Niveles de Automatización

El término nivel de automatización indica la proporción que existe entre el hombre y la máquina dentro de las tareas automáticas. El nivel de automatización lo determina factores como el económico y el tecnológico y de ahí que se puedan encontrar algunos niveles de automatización dependiendo del objetivo que se desee conseguir.

La información detallada a continuación se basa en (García Moreno, 1999).

- a) **Nivel elemental:** este nivel se le asigna cuando se tiene una máquina muy sencilla o partes de una máquina en la que se están monitoreando tiempos muertos, posicionamiento de piezas y en algunos casos tareas de seguridad. Este nivel cuenta con tres grados de automatización que son: vigilancia, guía operador y mando
- b) **Nivel intermedio:** en este nivel comprende el tratamiento que se le puede dar a un conjunto de máquinas sencillas o a una máquina que sea compleja.
- c) **Tercer nivel:** aquí ya se habla de la automatización de un proceso complejo en el cual intervienen el control de dicho proceso y otros aspectos tales como: la supervisión, optimización, gestión de mantenimiento, control de calidad, seguimiento de la producción. Para cumplir con cada uno de los aspectos mencionados se han valido de diferentes estructuras de automatización y control.
 - c.1. **Control Centralizado:** este tipo de estructura, consta de una unidad de procesamiento CPU única donde se centralizan todas las entradas y salidas del proceso, adicionalmente se puede tener una interfaz de usuario o HMI y una estación de operación. Es aplicable a procesos continuos y secuenciales y también puede ser la combinación de los dos tipos de procesos.

Como ventajas se puede mencionar que al tener una estructura centralizada se facilita el flujo de la información permitiendo de esta manera cumplir con el objetivo de optimización del proceso. Por otro lado, la desventaja es que, se depende bastante de la fiabilidad del CPU que está controlando el proceso, es decir, que si esta falla se pierde todo el control del sistema.

En la Figura 2.3 se muestra un esquema que identifica un control centralizado. Donde se puede observar que la información y mando de cada proceso se comanda desde un solo CPU.

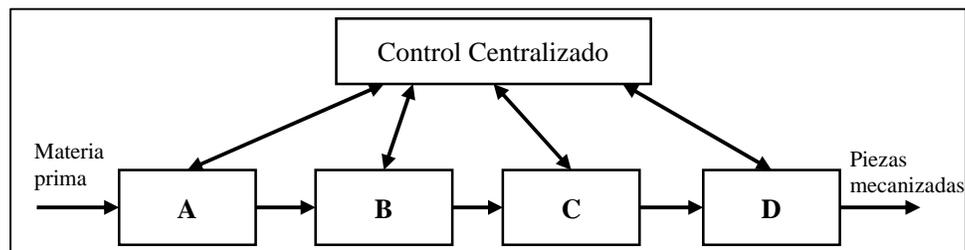


Figura 2.3 Ejemplo de un control centralizado
Fuente: (Garcia Moreno, 1999)

c.2. **Control multicapa:** a diferencia del control centralizado, en este tipo de estructura existen dos niveles de control, en donde, en el nivel más bajo se coloca un controlador local que se encarga de procesar y comandar cada uno de los procesos o subprocesos específicos. El segundo nivel o nivel superior esta un CPU central que se encarga de supervisar y cargar valores de consigna y comunicar los proceso. En la Figura 2.4 se puede observar un esquema que ejemplifica este tipo de estructura. Adicionalmente esta unidad central se encarga del procesamiento de toda la información y monitoreo de cada uno de los controladores del nivel 1. En este caso si el CPU central falla, el funcionamiento de los procesos queda garantizado.

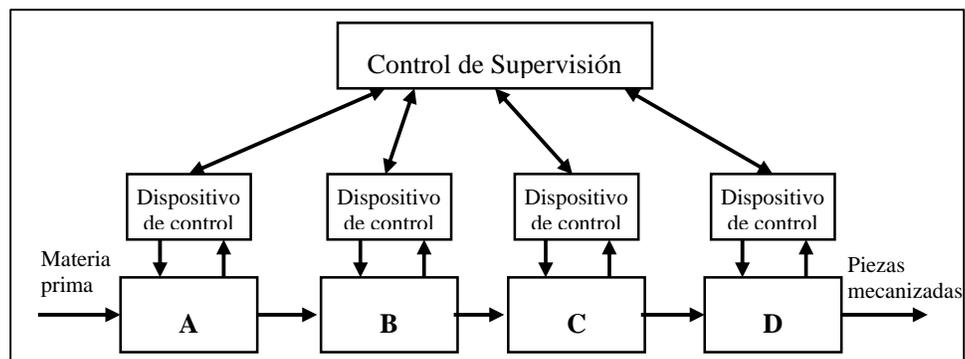


Figura 2.4 Ejemplo de un control multicapa
Fuente: (Garcia Moreno, 1999)

- c.3. **Control jerárquico:** este tipo de estructura es consecuencia de la ampliación del concepto de control multicapa. En esta estructura se maneja los conceptos de planificación y de gestión empresarial asignando diferentes niveles de jerarquías para el control del proceso.
- c.4. **Control distribuido:** en el control distribuido se asume algunas consideraciones como la: existencia de muchas unidades de control y de fabricación que realizan las mismas tareas, en caso de un daño o sobrecarga de trabajo en una estación es posible transferir todo o en partes esas tareas a otras estaciones de trabajo.

En este tipo de estructura se hace necesaria una gran capacidad de acceso a la información y comunicación entre los procesos, además de algoritmos inteligentes para detectar y diagnosticar fallos. La ventaja que se consigue es la gran fiabilidad del comportamiento del sistema y la facilidad para el mantenimiento, ya que se puede parar un proceso sin afectar, en mayor medida a los otros. Como desventaja se puede decir que se ocasionan disminuciones en la velocidad de comunicación debido a retardos, y también desbordamientos por la gran cantidad de procesamiento de datos. En la Figura 2.5 se ilustra un esquema que ejemplifica la estructura de un control distribuido.

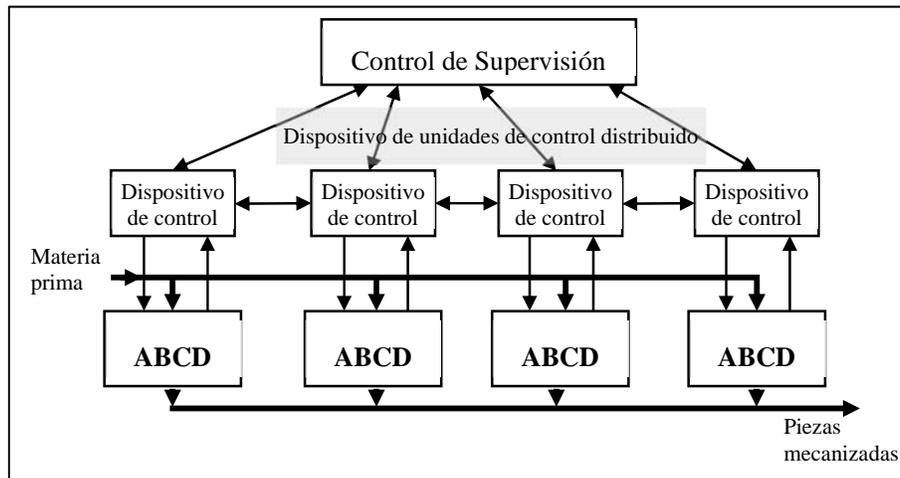


Figura 2.5 Ejemplo de un control de estructura distribuida
Fuente: (García Moreno, 1999)

- d) **Cuarto Nivel:** En este nivel se habla del concepto relacionado con la Fabricación Integrada por Computador, o simplemente CIM, por sus siglas en ingles de “*Computer Integrated Manufacturing*” donde se analiza la integración de datos, información, control y la toma de decisiones.

Tratar de realizar una implementación a este nivel es una tarea bastante complicada y larga. Actualmente es tema de investigación, ya que es necesaria una serie de pasos y aplicar metodologías que permitan realizar esta tarea.

Este presente trabajo se encuentra ubicado dentro del nivel 3, usando una estructura tipo control centralizado, ya que cuenta con el proceso en el cual intervienen los captadores de señal y los actuadores que envían y reciben señales hacia y desde el controlador lógico programable, respectivamente, que es el encargado de realizar el control del proceso,.

2.4 La pirámide de la Automatización: Concepto CIM

Se había dicho que la automatización es una integración de tecnologías tanto clásicas (mecánica y electricidad) como modernas (electrónica, informática, telecomunicación), toda esta integración puede verse resumida en modo gráfico en la llamada pirámide de la automatización o CIM (*Computer Integrated Manufacturing*), (Rodríguez Penin, 2007).

La pirámide de la automatización es una estructura jerarquizada, de 5 niveles, donde en la parte más alta se toma las decisiones de política empresarial y en el otro extremo, en la base, se encuentran toda la parte de maquinaria, sensores y captadores de señal de los procesos. En la Figura 2.6 se muestra los niveles de la pirámide de la automatización.

A continuación se detalla la información y los procesos asociados a cada uno de los niveles, según lo indicado en (Rodríguez Penin, 2007), (García Higuera & Castillo García, 2007) y (García Moreno, 1999).

- a. **Nivel 0:** este nivel es la base de la pirámide de la automatización aquí se encuentran los subprocesos, maquinarias en general con las que se realizan el proceso de producción. También se encuentra en este nivel toda la parte de instrumentación como sensores, detectores, actuadores, variadores de frecuencia, válvulas y otros. Este nivel envía y recibe las señales hacia y desde el nivel 2.
- b. **Nivel 1:** también llamado nivel de control o control de célula. En este nivel se encuentran todos los dispositivos de control, como PLC, PAC, Computadoras industriales, controladores encargados de la regulación y de seguridad necesarios para la operación del proceso. Las señales llegan desde el nivel inferior mediante cables individuales o en algunos casos mediante redes de comunicación dedicadas.
- c. **Nivel 2:** aquí se realiza la supervisión y la adquisición de datos ya sea mediante medios humanos o informáticos. En este nivel se encuentran los autómatas de supervisión, PCs y equipos de visualización. Las principales tareas de este nivel consisten en la supervisión integral de todo el proceso o procesos, optimización de operaciones, mantenimiento correctivo y preventivo, gestión de alarmas, control de calidad, entre otros.
Este nivel permite, dependiendo de la filosofía de la empresa, cargar órdenes, consignas y recibir estados del proceso hacia y desde el nivel 2 de control. También

es posible recibir los programas de producción, mantenimiento, entre otros, desde el nivel 3 de planificación y realimenta con información a dicho nivel, con los estados en que se encuentra el proceso, como ordenes de trabajo, situación de máquinas, entre otros. En este nivel se implementa los sistemas SCADA.

- d. **Nivel 3:** este es el nivel de planificación donde se encuentran los sistemas de ejecución de la producción (MES). En este nivel se realizan las siguientes tareas: programación de la producción, gestión de materiales, gestión de compras, análisis de costes de fabricación, control de inventarios, gestión de recursos de fabricación, gestión de calidad, gestión de mantenimiento. Este nivel se comunica con los niveles 2 y 4 para recibir informaciones necesarias para realizar las tareas que le corresponden.
- e. **Nivel 4:** Es el nivel de la cúspide de la pirámide y se encarga de la gestión y la componen los sistemas de gestión integral de la empresa (ERP). En este nivel se realizan las siguientes tareas: gestión comercial y de marketing, planificación estratégica, planificación financiera y administrativa, gestión de recursos humanos, ingeniería del producto, ingeniería de proceso, gestión de la tecnología, gestión de los sistemas de información, investigación y desarrollo.
El nivel de gestión emite información hacia el nivel de planificación y este realimenta nuevamente con los detalles que necesita.

En los niveles más bajos de la pirámide de la automatización existen varias restricciones que son característicos del ambiente industrial, que dictan que, por un lado los tiempos de respuesta de los sistemas que conforman la parte de control deben ser rápidos y determinísticos y por otro lado deben ser lo suficientemente robustos para seguir funcionando ante las perturbaciones y ambiente característicos del entorno industrial, es decir, que se garantice la fiabilidad y disponibilidad del proceso controlado.

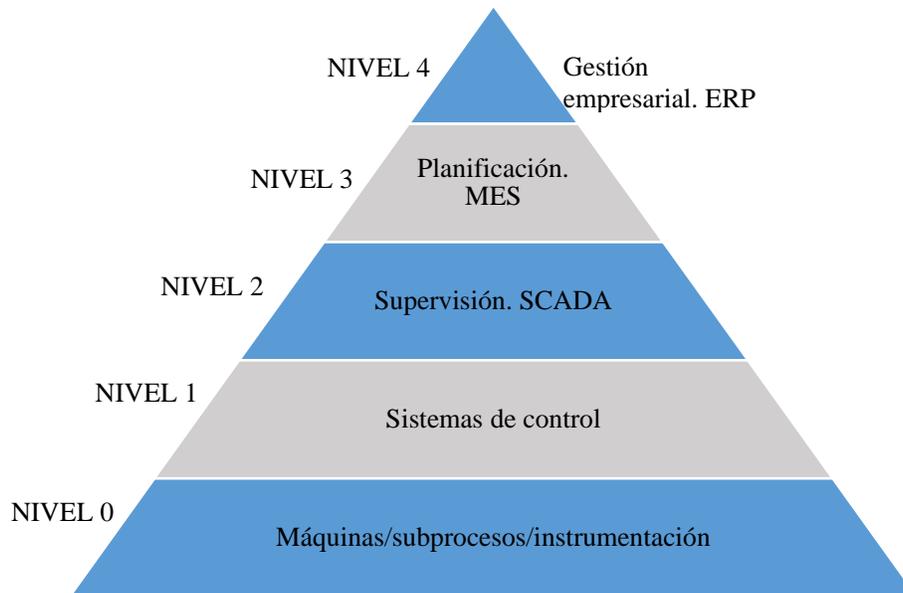


Figura 2.6 Modelo piramidal de la automatización

Fuente: Basado en (García Moreno, 1999) y (Cerrada Lozada, 2014))

Un aspecto importante que es indispensable para que fluya la información entre los diferentes niveles de la pirámide son las redes y protocolos de comunicación. Las redes de comunicación pueden estar entre los diferentes dispositivos de campo comunicándose con el nivel de control y este con el nivel de supervisión después con el nivel MES y ERP. El tipo de red de comunicación a usarse dependerá del nivel de la pirámide, en los niveles más bajos, como se había mencionado, se tienen problemas característicos de la industria, como ruido electromagnético, ambientes con polvo, húmedos, entre otros, por lo que la comunicación deberá ser lo suficientemente robusta y segura como para soportar todas las características de dicho ambiente industrial.

En la Figura 2.7 se ilustra cómo están interconectados los diferentes niveles de la pirámide CIM.

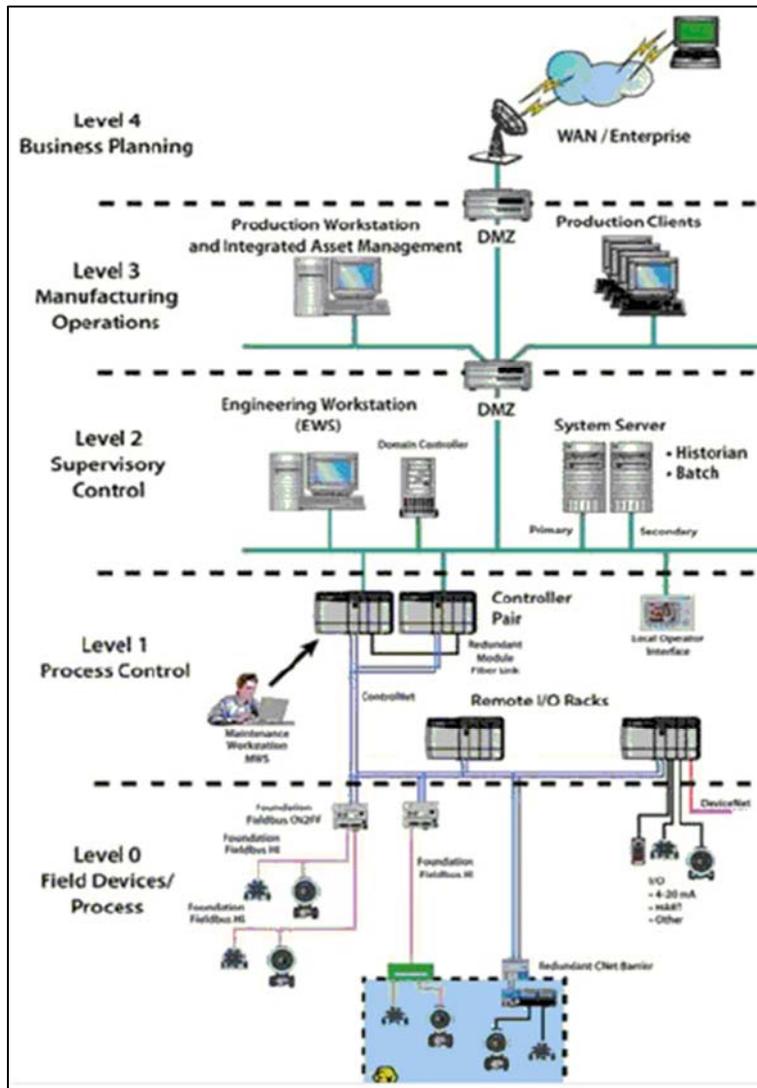


Figura 2.7 Distribución de tecnología y comunicaciones en los diferentes niveles de la pirámide de la automatización

Fuente: (Barreto, 2012)

Este trabajo enmarca, principalmente, los niveles 0 y 1 de la pirámide de la automatización y parte del nivel 2, tomando en cuenta que se implementó una aplicación sobre PC que permite comunicarse con el PLC para adquirir los datos del peso, estado del proceso y comunicarse también con el lector de códigos de barras, todo esto para

validar el producto final, y cargar estos datos de los códigos de barras a un servidor de la empresa.

2.5 El Controlador Lógico Programable, PLC

El Controlador Lógico Programable o PLC, por sus siglas en inglés de “*Programmable Logic Controllers*”, o también llamado autómatas programables, sin lugar a duda, es el componente electrónico más usado dentro de los ambientes industriales para realizar las automatizaciones.

La definición de PLC según la Comisión Internacional de Electrotecnia, IEC 1131 parte 1 es: “Un sistema electrónico de funcionamiento digital, diseñado para su uso en un entorno industrial, que utiliza una memoria programable para el almacenamiento de instrucciones orientadas al usuario, para la realización de funciones específicas, para controlar, a través de entradas y salidas, diversos tipos de máquinas o procesos. Tanto el PLC como sus periféricos asociados deben poder integrarse fácilmente a un sistema de control industrial”, (Mendoza Vargas, Cortés Osorio, & Muriel Escobar, 2011).

Los PLCs se encuentran cada vez innovándose e incorporando nuevas tecnologías, como procesadores más rápidos, protocolos de comunicación nuevos, entre otros, con la finalidad de tener las mayores prestaciones para controlar los procesos industriales que son cada vez más complejos, de una manera más fiable, rápida y precisa. El mercado de los PLC permite encontrar varios modelos con diferentes prestaciones para seleccionarlos según sea la aplicación que se desee desarrollar, así se pueden encontrar (IDC_Technologies, 2007):

- Los Micro PLCs de hasta 100 E/S (Entrada/Salidas).
- Pequeños PLCs de entre 100 a 200 E/S
- PLCs Medianos de hasta 1000 E/S.
- PLCs Grandes con más de 1000 E/S.

Los PLCs manejan el concepto de modularidad, es decir, que se permite ir adaptando módulos de entradas y salidas, tanto analógicas como digitales y también módulos especiales, como de comunicación, que permiten irse adaptando a las necesidades que se tengan al momento de automatizar. También se tiene la posibilidad de crear una inteligencia distribuida, esto gracias a las comunicaciones entre los PLCs mediante las redes industriales.

Un controlador Lógico programable se compone principalmente de los siguientes bloques:

- La Unidad Central de Proceso o de control, que es el CPU.
- Memorias internas.
- Memoria de programa.

- Interfaces de entrada y salida.
- Fuente de alimentación

Adicionalmente existen las interfaces para módulos especiales, como de entradas-salidas analógicas, puertos de redes de comunicación, contadores de alta velocidad, reguladores de posicionamiento, interfaz de comunicación con el programador, entre otros. Más detalle sobre el PLC y su arquitectura interna se encuentran en (Balcells & Romeral, 2000)

2.5.1 Lenguajes de programación en un PLC

Existen una gran cantidad de fabricantes de PLCs y cada uno maneja su propio software de programación. Existe una estandarización a nivel mundial que establece los lenguajes de programación a usarse y que estructura deben contener.

La Comisión Internacional de Electrotecnia, IEC (*International Electrotechnical Commission*), establece la estandarización IEC 61131-3 para los lenguajes de programación en la automatización industrial, permitiendo de esta manera que el trabajo de programación sea independiente de cualquier marca de PLC. El estándar IEC 6131-3 establece 5 lenguajes de programación que son: Listado de Instrucciones (IL), Texto Estructurado (ST), Diagrama de Bloques de Funcionales (FBD), Diagrama de escalera o Ladder (LD) y el diagrama de funciones secuenciales SFC. (Karl Heinz & Tiegelkamp, 2001).

En la Figura 2.8 se ilustra un ejemplo de cada uno de los lenguajes mencionados.

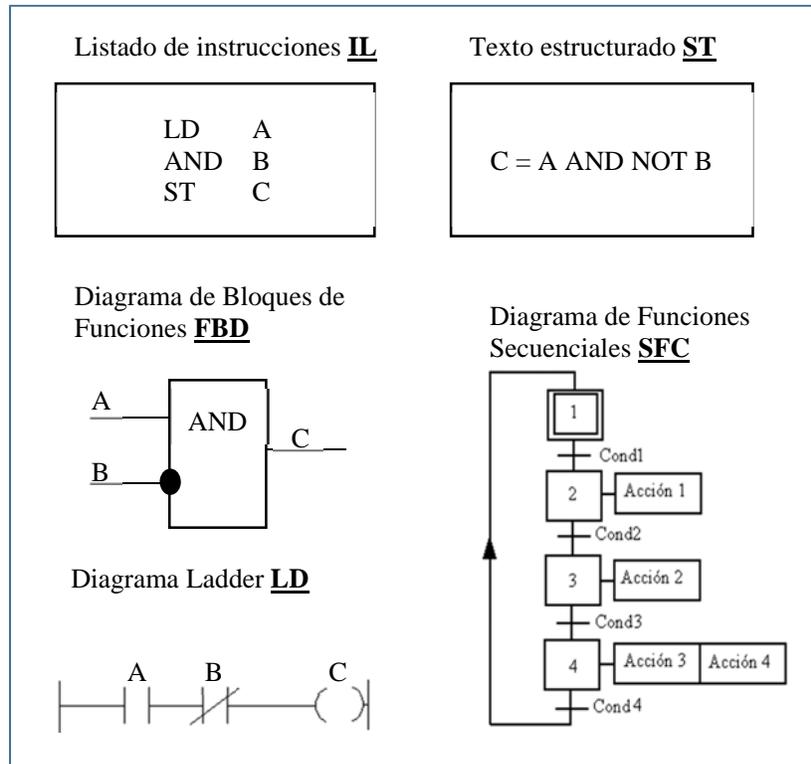


Figura 2.8 Ejemplo de los lenguajes de programación para los PLCs
Fuente: Autor

La lista de instrucciones abreviado como IL, se asemeja a la programación en ensamblador. El texto estructurado, abreviado como ST, es el lenguaje de más alto nivel para la programación de los autómatas, ya que se basa en PASCAL, en C y ADA, lo que permite tener todos los elementos principales de un lenguaje de programación moderno, que incluyen flujo de ejecución como las sentencias *if-then*, *else*, *case*, y los lazos de iteración *for*, *while*, entre otros, este lenguaje puede ser usado en operaciones que resultan complejas. El Diagrama de Bloques de Función, FBD, representa el programa mediante un conjunto de bloques de funciones, asemejando a los diagramas de circuitos electrónicos.

El diagrama escalera o Ladder, abreviado como LD, está basado en la representación gráfica de la lógica de relés o contactores, (IDC_Technologies, 2007), (Karl Heinz & Tiegelkamp, 2001).

El lenguaje Diagrama de Funciones Secuenciales SFC (Sequential Function Chart), está basado en las redes de Petri. El GRAFCET describe un comportamiento secuencial de un programa de control, consiste en pasos enlazados por bloques de acción y

transiciones, donde cada paso representa un estado específico del proceso que se esté controlando, (IDC_Technologies, 2007).

El estándar IEC 61131-3 dos maneras de desarrollar un programa que puede ser, partiendo de la visión general del proceso para luego resolver los detalles o se inicia en la parte de detalles como por ejemplo mediante bloques de funciones y los bloques de funciones derivados. Este proceso se conoce como *Top-down vs Bottom-Up*.

En este presente trabajo de tesis se utilizó el PLC de la marca Mitsubishi, debido a que en la gran mayoría de maquinarias y procesos dentro de la empresa INDUGLOB están controlados por esta marca, y de esta forma también se logra estandarizar y evitar el uso de varios programas de diferentes marcas de PLCs para el desarrollo de una aplicación de automatización. Se utilizó el lenguaje GRAFCET para la descripción funcional de GEMMA, y se utilizó el lenguaje Ladder para la implementación de los modos funcionales de GEMMA en el PLC, por la experiencia que se tiene trabajando con este lenguaje y las facilidades que tiene el software de desarrollo para trabajar con dicho lenguaje. La descripción de este PLC se puede encontrar en (Ridley, 2004), (Mitsubishi_Electric_Corporation;, 2014), (Mitsubishi Electric, 2009).

2.6 Interfaz Hombre Máquina

El HMI, *Human Machine Interface*, por sus siglas en inglés, o también llamado en algunos países como panel operador, permite controlar y monitorear un proceso o una parte del proceso mediante una interfaz gráfica. Permite, adicionalmente, mostrar históricos, alarmas, reportes, entre otros. El HMI se conecta al PLC, usando algún puerto de comunicación, común para ambos, ya sea RS232, RS485, RS422, PROFIBUS, Ethernet, entre otros, permitiendo así monitorear el estado del proceso, trayendo y enviando los datos desde y hacia el PLC. (Rodríguez Penin, 2007), (Barreto, 2012).

Antiguamente, los paneles de operador, eran gigantescos tableros que proveían una información limitada y que muy difícilmente podía ser expandible; hoy en día, se puede trabajar con gran cantidad de información, totalmente escalable y con la tecnología actual, hasta un Smartphone o Tablet puede convertirse en un HMI. (Barreto, 2012)

Es importante destacar la importancia del HMI y de cómo el operario humano accede y participa en el ciclo de las operaciones básicas del proceso, como por ejemplo para cargar y cambiar consignas, supervisión del proceso o máquina verificando su correcto funcionamiento, entre otras tareas encomendadas al operador. (Ponsa, Vilanova, & Díaz, 2007). En la Figura 2.9 se muestra la interacción entre el operador humano y la interfaz.

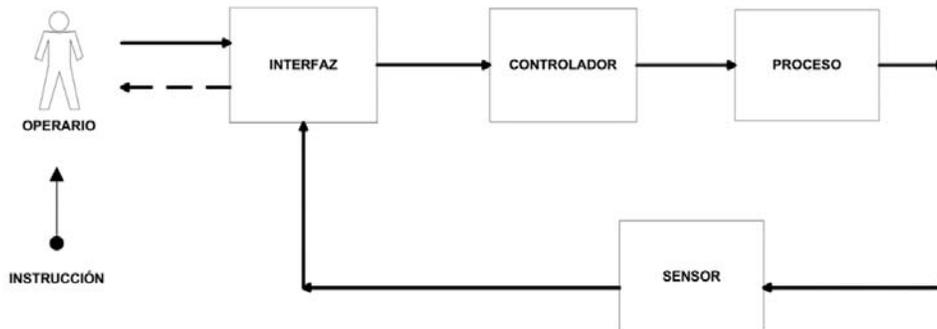


Figura 2.9 Interacción entre el operador y el proceso mediante una interfaz hombre-máquina

Fuente: (Ponsa Asencio & Vilanova Arbós, 2005)

Igual que en los PLCs en las HMIs se encuentran gran cantidad de marcas y prestaciones, y en algunos casos viene embebida el HMI y el PLC. Para este presente trabajo se utilizó una interfaz hombre-máquina de la marca Kinco. Las generalidades de esta HMI se pueden encontrar en (Kinco, 2012).

2.7 Sistemas de Control basados en PC

Las computadoras se empiezan a usar en los procesos industriales a mediados de los años 50 y desde ese entonces cumple funciones que siguen estando presente hoy en día, los cuales son: la monitorización, vigilancia, el control y la supervisión del o los procesos industriales, la aplicación más conocida es el SCADA. Gracias al avance de las redes de comunicación industrial y de la tecnología de la información es posible interactuar cada vez más entre el PLC y una PC para ejercer también tareas de control, (Ponsa Asencio & Vilanova Arbós, 2005).

Un ordenador o PC suele usarse en procesos que tiene cierto nivel de complejidad donde se tienen que manejar cálculos matemáticos, una cantidad grande de información, entre otros. La tendencia actual para el uso de los ordenadores en el control de proceso es colocar en red con el PLC, o a su vez usarlo como un periférico de la computadora de tal forma que se combinen la potencia para cálculos y manejo de la información de la PC y la facilidad con la que el PLC puede captar las señales y realizar el control, (Balcells & Romeral, 2000).

Otra tendencia actual es el uso de los PACs que son las siglas de Controladores de Automatización Programables, estos combinan la funcionalidad de la PC y la confiabilidad de un PLC.

Existen varios programas que permiten interactuar con el autómata PLC, dependiendo de qué tarea se desee realizar. En este caso se eligió trabajar con la herramienta LabVIEW, que es una plataforma y entorno de desarrollo que permite

interactuar con el PLC y también permite comunicarse con el lector de código de barras. La selección del software LabVIEW es debido principalmente a que en la fábrica INDUGLOB se cuenta con la licencia de la versión profesional 9, además LabVIEW ofrece más comodidad al momento de realizar la programación usando los protocolos de comunicación como MODBUS, RS232, ETHERNET, TCP/IP, OPC, entre otros. Para la comunicación con el lector de códigos de barras, se realizará directamente mediante Ethernet y para la comunicación con el PLC, se tendrá que usar el servidor y cliente OPC de Mitsubishi, igualmente a través de Ethernet. Las generalidades de esta herramienta se presentan en (Lajara Vizcaíno & Pelegrí Sebastián, 2011), (Bitter, Mohiuddin, & Nawrocki, 2006).

2.7.1 OPC UA

OPC Unified Architecture (UA) son las siglas de “*OLE for Process Control*”, y permite comunicarse en tiempo real con varias marcas de PLCs y PACs con las PCs. OPC está basado en la tecnología Microsoft, que permite tener un protocolo común para comunicación. (National Instruments, 2013), (OPC Foundation, 2015).

La arquitectura OPC se basa en una arquitectura Cliente-Servidor, esto permite que cualquier proveedor de PLCs pueda compartir datos de una manera sencilla, sin necesidad de otro software o driver. El servidor OPC es la aplicación que realiza la recolección de los datos de los diferentes equipos de control y permite posteriormente el acceso libre a estos datos desde otras aplicaciones que soliciten, siendo estos los clientes.

Al usar la tecnología OPC el desarrollador se centra exclusivamente al desarrollo de la aplicación, como un SCADA, monitorización o control, sin tener que preocuparse en definir o decodificar un protocolo de comunicación.

En la Figura 2.10 se ilustra la arquitectura cliente-servidor, en el que el OPC server contiene los drivers de comunicación con los dispositivos de hardware y las aplicaciones permiten tomar esa información a través del cliente OPC. En la Figura 2.11 se muestra a LabVIEW como cliente OPC.

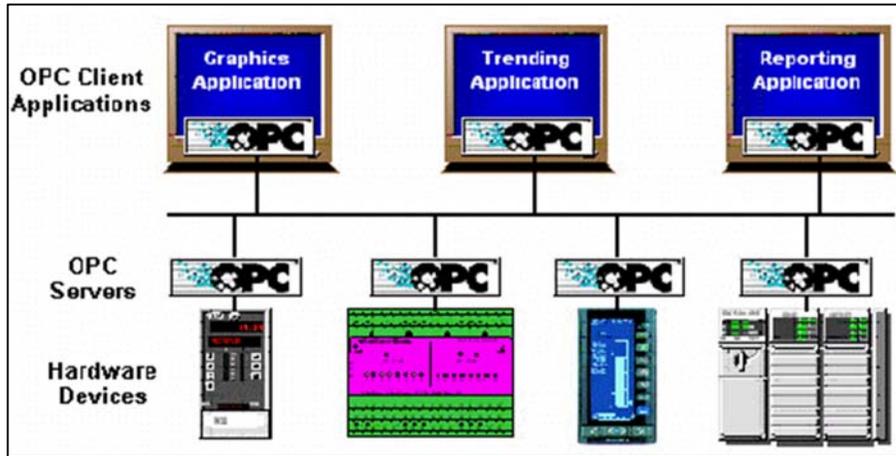


Figura 2.10 OPC basado en la arquitectura Cliente-Servidor
Fuente: (Mitsubishi Electric, 2011)

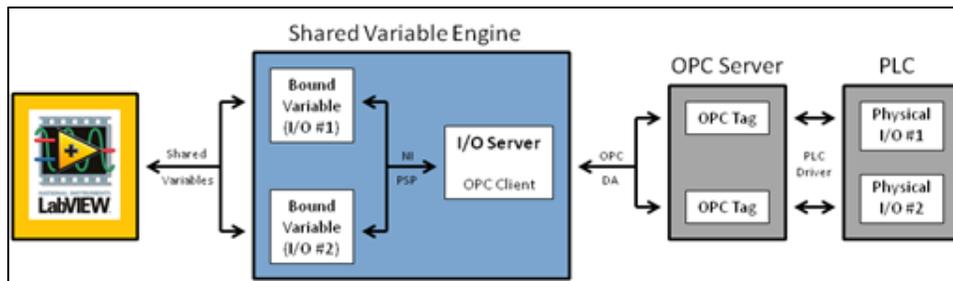


Figura 2.11 Ejemplo de LabVIEW como cliente OPC.
Fuente: (National Instruments, 2012)

El software a usarse para acceder a los datos del PLC Mitsubishi FX3U es el MX OPC Server 6.01 el cual contiene todos los drivers necesarios para tener acceso al hardware de la marca Mitsubishi. Este software permite configurar el OPC a través del *MX OPC Configurator* y también se crea automáticamente un *runtime* que permite continuamente comunicarse con el hardware configurado. (Mitsubishi Electric, 2011)

2.8 Sensores y Actuadores

Dentro de muchos procesos industriales resulta indispensable la realimentación del proceso, y para eso es necesario usar elementos que permitan medir y/o captar las señales que ocurren en el proceso industrial. Por otro lado, es necesario también contar

con accionamientos o elementos actuadores que permitan controlar la planta, en algunos casos es necesario de elementos intermedios, llamados pre-accionadores.

2.8.1 Sensores

Los sensores son componentes que están situados directamente en el proceso o máquina a controlar y a través de estos el PLC puede saber el estado de los mismos, como posición, temperatura, presión, entre otros.

En algunos casos es necesario también el uso de los transductores, que permiten convertir la variable física leída en una señal de voltaje o corriente. Una actuador cuenta con una parte que capta la señal, otra parte que permite tratar la señal, es decir, filtrar, amplificar, linealizar en otras palabras modificar la señal a través de circuitos electrónicos, y finalmente cuenta con una etapa de salida, que amplifica y adapta la señal para su uso en el controlador, la señal obtenida puede ser voltaje, corriente o frecuencia. (Balcells & Romeral, 2000)

Otro elemento que permite captar la señal pero que su salida es directamente digital o binaria, son los detectores y/o sensores de proximidad, que permiten directamente presentar dos estado, activado o desactivado, con presencia o no presencia, posicionado, no posicionado, entre otros. Existen detectores o sensores de proximidad ópticos, magnéticos, inductivos, mecánicos, por fluido, entre otros, el uso de uno u otro depende la aplicación, (Festo, 2008).

Para este presente trabajo de tesis se usó como sensor las celdas de carga que permiten captar el peso de los congeladores y en cuanto a los detectores o sensores de proximidad, se usó Fotocélulas o sensores ópticos, sensores magnéticos y finales de carrera.

Las celdas de carga o células de carga a base de galgas extensiométricas, es un instrumento usado para medir peso. Su principio de funcionamiento es la variación de resistencia cuando sufre un esfuerzo. Se usan acondicionadores de señal, llamados puente de Wheastone, que permiten captar pequeños cambios en la resistencia y compensar efectos de la temperatura (Creus Solé, 2010). En la Figura 2.12 se muestra las celdas de carga en disposición del circuito de puente de Wheastone y una muestra de una celda de carga física. Para esta aplicación se usaron cuatro celdas de carga dispuestas sobre una plataforma, una en cada esquina, para unir las cuatro 4 celdas de carga se usó una caja de unión.

Los sensores de proximidad usados para esta aplicación fueron Fotocélulas que permiten detectar la presencia de un objeto cuando el haz de luz es interrumpido, también se usó sensores magnéticos para detectar en los pistones neumáticos cuando estén activados. Los fines de carrera se usaron para detectar la posición de la puerta de ingreso de producto terminado, si está abierta o cerrada.

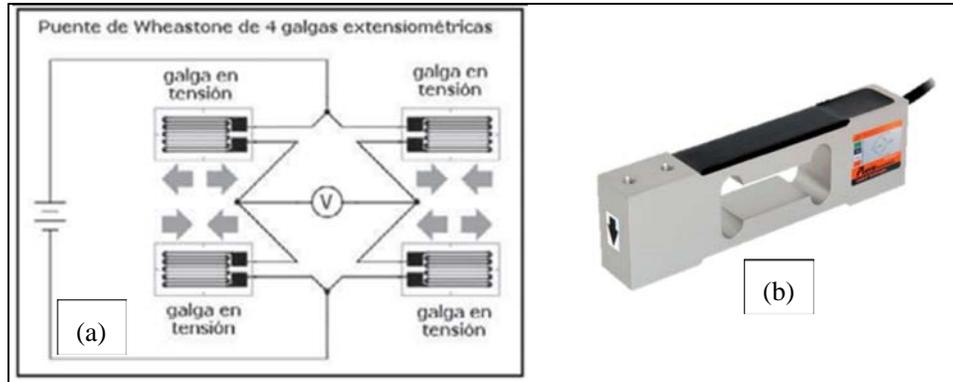


Figura 2.12 (a) Celdas de carga en circuito de puente de Wheatstone. (b) Celda de carga Industrial
Fuente: Basado en (Creus Solé, 2010)

2.8.2 Actuadores

Los actuadores permiten controlar el proceso o la máquina, estos pueden ser eléctricos, neumáticos, hidráulico, térmicos. Cada uno de estas tecnologías tiene dos tipos de accionamiento, que puede ser todo o nada, o analógico, (Balcells & Romeral, 2000).

En un nivel intermedio entre el PLC o controlador y los actuadores o accionadores están los pre-accionadores, que permiten acoplar señales para que funciones los accionadores que generalmente consumen un potencia relativamente grande.

Los pre-accionadores usados para este trabajo fueron, relés, contactores, SCR, variadores de frecuencia y electroválvulas. Que permiten controlar el elemento final que son los accionadores. Los accionadores usados para este trabajo fueron, motores y pistones, que son los elementos que están interactuando directamente con el proceso.

2.9 Redes de comunicación

Las redes de comunicación industrial permiten el intercambio de información ya sea entre controladores o entre controladores y el sistema de supervisión. Se puede poner en red desde los elementos de campo que están en la base de la pirámide de la automatización ahorrando el cableado que significaría llevar señal por señal de cada sensor hacia el controlador. Para esto existen diferentes tipos de protocolos de comunicación, Devicenet, Controlnet, Ethernet/IP, profibus, fieldbus, modbus, Hart, entre otros. Cada una de estas redes se basa en el modelo OSI (*Open System Interconnection*), IEC 7498-1, que establece 7 capas para describir el protocolo de comunicación que se necesite. La red de área local LAN es la más usada dentro de los

ambientes industriales. (García Moreno, 1999), (Balcells & Romeral, 2000), (Barreto, 2012). En la Figura 2.13 se muestra un ejemplo de una aplicación de una red industrial entre controladores, dispositivos de campo y ordenadores.

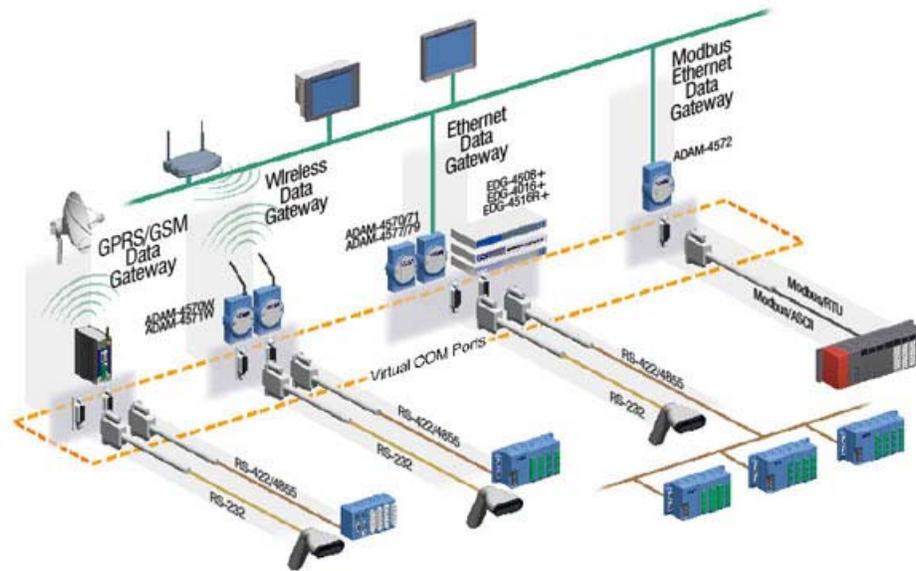


Figura 2.13 Ejemplo de una aplicación red industrial entre controladores, dispositivos de campo y los sistemas de supervisión

Fuente: Tomado de <http://www.siameingenieria.com/automatizacion-industrial.php>

Hoy en día, una de las alternativas que va ganando más terreno dentro de las comunicaciones entre controladores y estos con los sistemas de supervisión o con los ordenadores son las redes Ethernet y su variante de Ethernet/IP, ya que presenta grandes ventajas como la velocidad de transmisión, distancia, número de equipos conectados, entre otros. (Bravo Llano, 2007), (Cázar, y otros, 2014). Como ya se ha mencionado en secciones anteriores, el proceso de automatización abordado en este trabajo usa comunicación Ethernet/IP.

2.10 Modelos para la conceptualización e implementación de sistemas de automatización

Existen metodologías de conceptualización de diseño de sistemas de automatización, así como, de análisis de modos de arranque y parada, las cuales, en el primer caso, permiten tener una idea clara del proceso y de sus requerimientos y la segunda conducen al diseño de los sistemas de control.

En este presente trabajo de tesis se estudiaría la metodología de modelado de negocios, BMM, que permitirá definir las características del proceso que se desea automatizar y posteriormente se aplicará la metodología GEMMA que permitirá definir los estados de marcha y parada del proceso automatizado.

2.10.1 Metodología para el modelado de negocios BMM

La necesidad de contar con metodologías que permitan conceptualizar y definir los procesos de negocio y de producción tiene su origen en la complejidad creciente de los sistemas de automatización.

Existen algunas propuestas de entornos para el desarrollo integrados que adoptan los principios de la ingeniería del software orientado a objetos conducida por modelos, la mayoría de los trabajos utilizan el lenguaje de modelado UML (*Unified Modeling Language*) para describir los procesos de negocio.

La metodología de modelado de negocios BMM, por sus siglas en inglés de *Business Modeling Method*, detallada en (Montilva & Barrios, 2004) es usada principalmente para desarrollar los sistemas de información BMM se diferencia de otros métodos de modelado de negocios en el enfoque que utiliza para modelar el proceso de negocio. Esta característica hace que esta metodología puede usarse para el modelado de procesos industriales.

El sistema de negocios está compuesto por los procesos de negocio, los cuales pueden ser modelados en una jerarquía de procesos y actividades mediante varios niveles de abstracción, para esto se puede usar las herramientas que proporciona UML Business propuesto por Ericksson y Penker. Los niveles necesarios para descomponer el proceso dependerán de la complejidad de mismo, pero se recomienda máximo 7 y mínimo 3, el último nivel se detalla las actividades, como se muestra en la Figura 2.14.

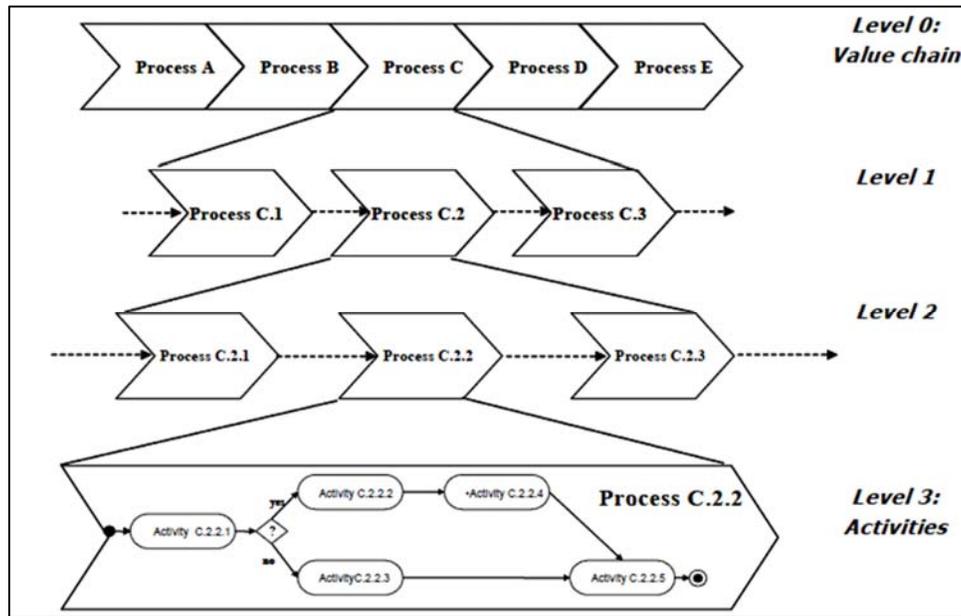


Figura 2.14 Descomposición jerárquica de los procesos de negocio
Fuente: (Montilva & Barrios, 2004)

Los procesos de negocios son ejecutados por los actores (recurso humano), que permiten alcanzar el objetivo del negocio, son activados por los eventos, se regulan por las reglas del negocio, y necesitan información para ejecutarse, (Montilva & Barrios, 2004). Según BMM, el modelo de procesos debe conducir a la especificación de cada proceso de la cadena de valor, según la representación gráfica de la Figura 2.15. Los símbolos UML para describir las actividades del último nivel pueden revisarse en (Barrios, 2012), (Eriksson & Penker, 2000).

En dicha representación se especifica el proceso que se va a detallar, dentro del cual se tienen que indicar:

- Sus actores, que pueden ser, personas, máquinas, dispositivos electrónicos y/o mecánicos, sistemas, entre otros. Algunos actores permiten controlar el sistema y otros son los que ejecutan el proceso.
- Las reglas del negocio, son los controles que permiten restringir o condicionar el proceso de negocio, como normativas, leyes, entre otros.
- Entradas o insumos, son los objetos de negocio que van a ser transformados y/o manipulados para producir un resultado o salida. Cabe mencionar que un proceso de negocio intercambia objetos de negocios e información con otros procesos.
- Salida, es el resultado final del proceso, puede ser una información o un objeto físico, producto de haber ingresado al proceso. Una salida por lo general, es un objeto de negocio para otro proceso.

- Objetivo, representa el propósito del proceso.
- Recursos, indica todo lo que está involucrado en el proceso de negocio, incluye los actores que ejecutan el proceso, objetos e información requerida.

Los procesos de negocios son activados por eventos que pueden ser internos o externos.

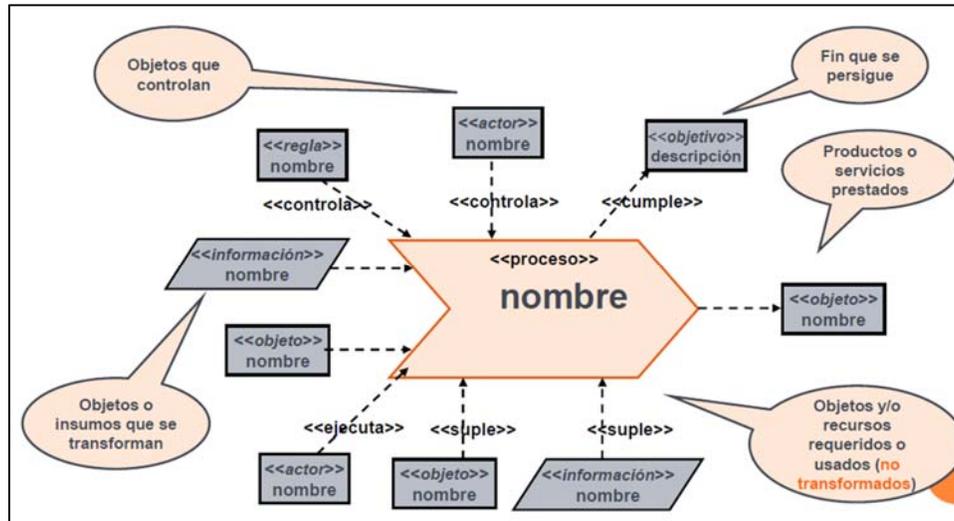


Figura 2.15 Diagrama de descripción del proceso usando la notación UML Business de Eriksson y Penker

Fuente: (Barrios, 2012)

Desde el punto de vista de la automatización industrial integrada, es posible usar algunos modelos de BMM para conceptualizar el sistema de negocios en procesos industriales, para definir los aspectos funcionales que permitan posteriormente definir las necesidades de automatización.

En (Montilva, Chacon, & Colina, 2000) se plantea un método para la automatización integral de sistemas de producción continua, denominado METAS, donde las actividades preliminares para la aplicación del método que proponen es ajustable para cualquier proceso de producción; en este caso se pretende aplicar a un proceso de manufactura. La base para la aplicación del método es manejar una arquitectura de referencia que permita describir que elementos tecnológicos (hardware, software, comunicaciones) y de gestión que son necesarios para establecer un nivel de integración y de automatización para un proceso de producción y que generalmente están enfocadas en la pirámide de la automatización CIM.

De las actividades preliminares que se menciona en METAS, es importante destacar para este trabajo, los conceptos asociados a los Sistemas de Negocios y al Proceso

Productivo. El sistema de negocios abarca toda la parte de los proceso de gestión, es decir que cubre los 3 niveles de la pirámide de la automatización, supervisión, MES y ERP. Por otro lado el Proceso Productivo, enmarca todo lo que significa los procesos de producción, en donde se usa la tecnología para transformar la materia prima en un producto terminado, a este proceso lo controla el sistema de negocios.

El objetivo preliminar de los sistemas de negocio es generar el conocimiento del negocio que es objeto de estudio, realizando la documentación necesaria y siguiendo ciertos pasos para realizar esta actividad, como se describe en (Montilva, Chacon, & Colina, 2000), de estos pasos vale resaltar la definición de la cadena de valor del sistema empresarial.

La cadena de valor es una representación secuencial lógica que permite visualizar la relación entre los procesos fundamentales y los procesos de apoyo del negocio. Partiendo de la cadena de valor se crea un modelo detallado de procesos de negocios, en el cual se especifica para cada proceso y subproceso, las relaciones de entrada-salida y flujos de la información, en este caso usando el modelo de procesos que propone BMM.

De esta manera, el primer paso de este trabajo ha sido definir la jerarquía de procesos a nivel del proceso productivo, donde la cadena de valor conforma el primer nivel de la jerarquía de procesos propuesta por BMM, y desarrollar los modelos de los procesos de jerarquía hasta llegar a la descripción de las actividades de control requeridas en cada proceso.

2.10.2 GEMMA

GEMMA (*Guide d'Étude des Modes de Marches et d'Arrêts*), es un marco metodológico que estudia las posibles situaciones de marcha y parada que pueda hallarse dentro de un proceso de producción, representando mediante transiciones de un estado a otro. GEMMA maneja un enfoque de diseño estructurado con el fin de modelar las tareas de forma parcial. (Balcells & Romeral, 2000) (Ponsa Asencio & Vilanova Arbós, 2005)

Un proceso de automatización consta de dos partes, el sistema de producción y el control del mismo; un sistema de producción puede encontrarse en cuatro estados posibles: funcionando, detenido, en falla o sin energía. Cada uno de los estados de funcionamiento se representa según la GEMMA, en un gráfico mediante rectángulos y líneas que conectan a los estados de funcionamiento, como se muestra en la Figura 2.16, (Ponsa Asencio & Vilanova Arbós, 2005). De esta manera, la aplicación práctica de la GEMMA conduce a un gráfico que contiene los siguientes elementos: rectángulo de estados, familia de estados, líneas orientadas y condiciones de evolución, (Balcells & Romeral, 2000, pág. 33)

El grupo F, define los procedimientos de funcionamiento. F1 cuando está en producción normal, F2, para marchas de preparación, F3 marcha de finalización, F4

marcha de verificación sin orden, F5marcha de verificación con orden y F6 Marcha de test.

El grupo A, define los procedimientos de parada, A1 para en estado inicial, A2 Parada a final de ciclo, A3 Parada en un estado determinado, A4 parada en un estado intermedio, A5 preparación de la puesta en marcha después de un fallo, A6 puesta del sistema en un estado inicial y A7 puesta del sistema en un estado determinado.

El grupo D, indica los procedimientos de fallo, D1 indica parada de emergencia, D2 Diagnostico de fallos/defectos y/o tratamiento de fallos/defectos y D3 es producción pese al defecto.

La guía GEMMA constituye un soporte para el diseñador del automatismo y se recomienda que para implementarlo se siga una metodología que permita recolectar la información necesaria para poder definir cada uno de los estados de funcionamiento.

La propuesta de realizar la metodología BMM, permite tener toda la información del proceso en los diagramas de actividades, esto ayuda a desarrollar de una manera más fácil la guía GEMMA ya que se cuenta con la información necesaria del proceso de producción. El siguiente paso constituiría ya la implementación del programa en el PLC, ayudados de estas dos metodologías, BMM y GEMMA.

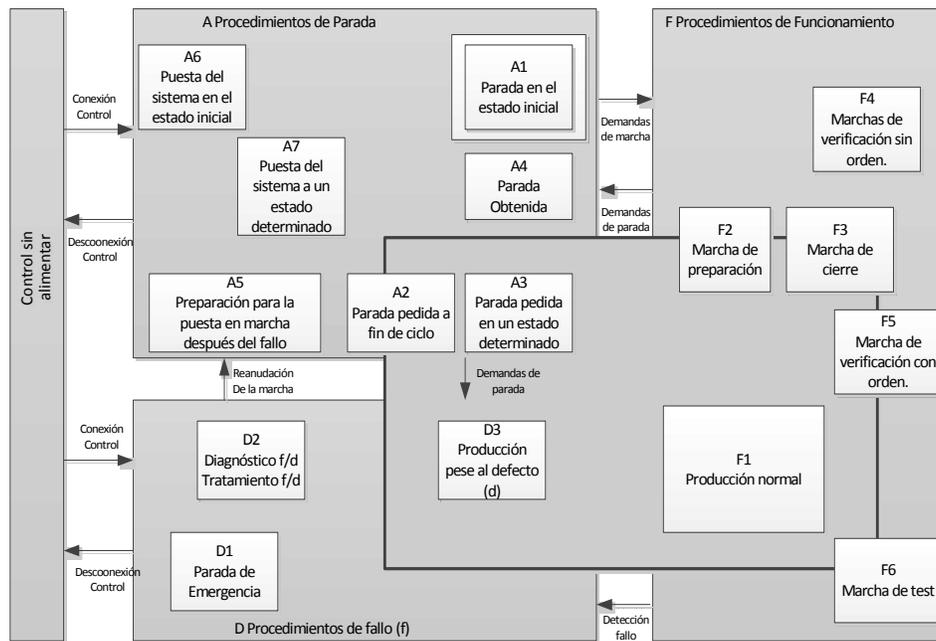


Figura 2.16 Representación convencional de la guía GEMMA

Fuente: (Ponsa Asencio & Vilanova Arbós, 2005)

2.10.3 Metodología de implementación de una automatización

Las metodologías anteriormente descritas permiten, por un lado, conceptualizar los aspectos funcionales, a nivel del proceso productivo, requeridos para la automatización que se requiere realizar, y por otro describir las acciones de control en los diferentes modos de funcionamiento, que se pueda implementar el programa en el PLC, de una manera más efectiva, al contar con la información de cómo funciona el proceso.

Adicionalmente se recomienda, se siga una metodología que permita sistematizar el proceso de implementación de la automatización de un proceso o una máquina. Basados en (Aragonès, Saigí Grau, & Zabaleta Alaña, 1998) se recomienda el siguiente orden de ejecución de pasos, para implementar el sistema automatizado:

- Levantar la información, acerca de las necesidades que tiene el proceso usando, en este caso BMM, a través de sus modelos de procesos y de actividades
- Realizar planos o esquemas que permitan visualizar de mejor modo lo que se desea hacer, en base a los diagramas de actividades.
- Determinar los accionadores necesarios, como motores, pistones y también los pre-accionadores, como contactores, variadores de frecuencia, electroválvulas, entre otros.
- Determinar los sensores y detectores a utilizarse.
- Determinar los elementos de entrada de órdenes, como pulsantes de emergencia, selectores y HMI.
- Determinar cuál va a ser el sistema de control a usarse, ya sea un PLC, una PC, un PAC., en función de sus prestaciones, entradas y salidas tanto digitales como analógicas que se necesite en el proceso.
- Definir las medidas de seguridad que debe haber en el proceso, tanto en sensores, como en protecciones para los elementos electrónicos y eléctricos.
- Diseño de la guía GEMMA.
- Realizar una primera versión del diseño eléctrico y electrónico necesario para poder comandar o controlar el proceso, basándose en estándares como la JIC o IEC, para que sea entendible por cualquier técnico que instale o revise el proceso.
- Realizar el listado de materiales tomando en cuenta en qué ambiente se va a trabajar, es decir, si existe humedad, polvo, ruido nivel de protección IP o NEMA, esto es aplicable para los sensores, actuadores, PLC, PC, tablero de control, entre otros.
- Diseñar y armar el tablero de control, tomando en consideración el calentamiento que pueda existir dentro del tablero por los elementos eléctricos y electrónicos, además del correcto etiquetado de cables y elementos de acuerdo al plano eléctrico.
- Registrar y modificar los cambios que se han realizado durante la instalación en los planos eléctricos y electrónicos.
- Considerar futuras ampliaciones.

- Realizar las instalaciones y cableado dentro de canaletas hacia y desde los sensores y actuadores.
- Realizar pruebas de tensión y corriente en los elementos de control, pruebas de entradas y salidas en controlador del sistema.
- Realizar la Puesta en Marcha; programación del controlador del sistema (PLC, PC), corregir errores.
- Programar la HMI, en caso de requerirla, colocando avisos de alarmas.
- Realizar las pruebas de sistema automatizado, corrección de fallas.
- Entregar la documentación al personal encargado, tanto del proceso como del mantenimiento, y capacitarlos para su comprensión.

CAPÍTULO 3

MODELADO DE PROCESOS Y GEMMA PARA LA LINEA DE ENSAMBLAJE

En este capítulo se realiza el modelado de procesos aplicado a la línea de ensamble de congeladores de la empresa INDUGLOB S.A. El desarrollo del modelado se basó en la metodología BMM de (Montilva & Barrios, 2004) usando previamente los conceptos desarrollados en (Montilva, Chacon, & Colina, 2000).

Posteriormente, con los resultados obtenidos del modelado de procesos con BMM, específicamente con el diagrama de actividades, se procede al diseño de la lógica de control usando la guía GEMMA, que permite establecer los modos de marcha y parada del proceso automatizado, para que después se realice su implementación en el PLC.

Antes de iniciar es necesario describir como es el proceso de ensamble de congeladores, para posteriormente realizar el análisis de la cadena de valor, y los procesos implicados para el ensamble.

3.1 Descripción del proceso a automatizar

Los procesos que implican el ensamble del congelador e ingreso del producto terminado son:

1. Armado del cajón del congelador.
2. Colocado del compresor.
3. Colocado de puertas.
4. Suelda de cañerías.
5. Vacío y carga.
6. Pruebas de laboratorio.
7. Limpieza y accesorios.
8. Embalado.
9. Validación del producto para ingreso a bodega de producto terminado.

A estos procesos mencionados anteriormente necesitan de productos y materiales relacionados con otros procesos que se podrán observar en el gráfico del modelado con BMM. En la Figura 3.1 se muestra un esquema que representa los puestos de trabajo para realizar los procesos de ensamble de los congeladores y del ingreso para el producto terminado.

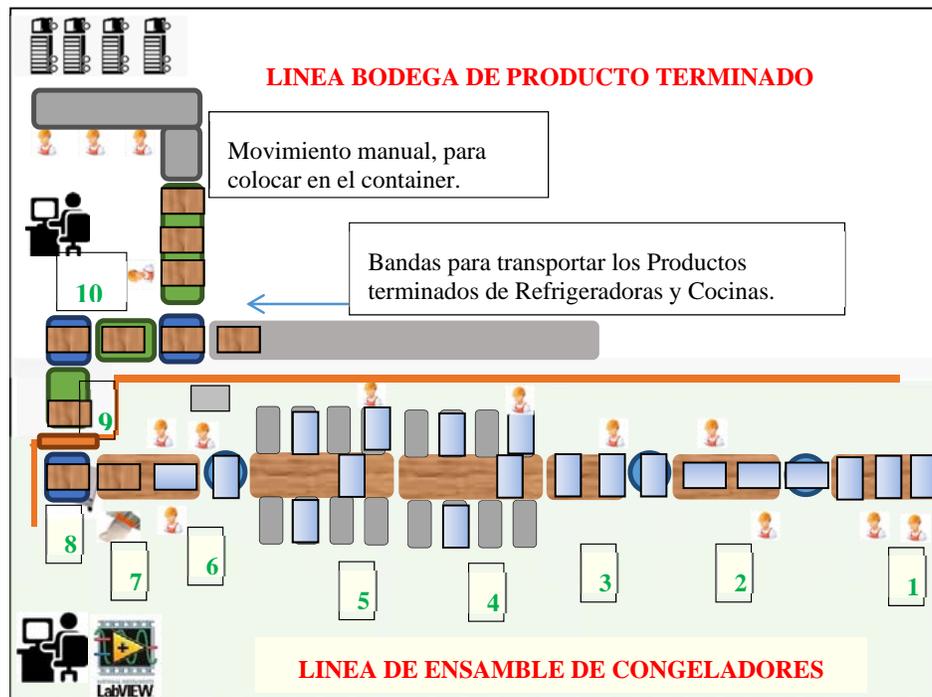


Figura 3.1 Esquema de la línea de ensamble de congeladores

Fuente: Autor

- 1) Banda para el armado y colocado del compresor.
- 2) Banda para colocado de la puerta.
- 3) Banda para proceso de suelda.
- 4) Banda con puestos de vacío y carga.
- 5) Banda con puestos de laboratorio.
- 6) Banda para colocar accesorios, limpieza y embalado del producto.
- 7) Lectura del código de barras.
- 8) Detección del peso e ingreso a bodega, o rechazo.
- 9) Puerta de ingreso de producto terminado.
- 10) Bodega

La automatización incluye motorizar las bandas de ensamble, validar el producto terminado e ingresarlo a bodega. Realizar las secuencias de funcionamiento, permitir cambios de tiempos de pausa y avance desde un HMI, subir los datos de los productos ingresados a bodega al servicio de la empresa.

3.2 Modelo de procesos según BMM

Para el desarrollo se usó UML Business la cual es una extensión del lenguaje desarrollada por (Eriksson & Penker, 2000), a continuación se detalla los modelados desarrollados.

3.2.1 Cadena de valor del negocio

En la Figura 3.2 se ilustra la cadena de valor del negocio, para la empresa INDUGLOB, donde se han colocado los procesos fundamentales de la empresa y los procesos de apoyan a los mismos.

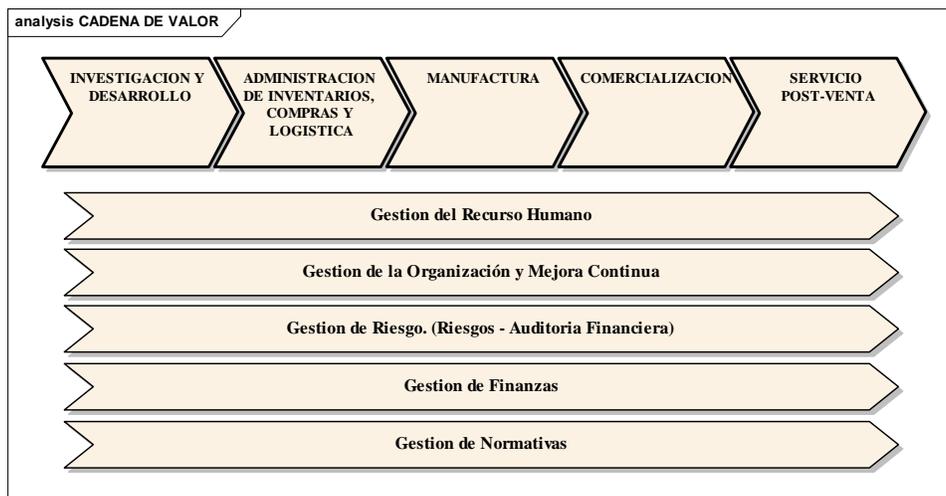


Figura 3.2 Diagrama de la cadena de valor de la empresa INDUGLOB S.A

Fuente: Autor

3.2.2 Jerarquía del proceso

A continuación se realiza la descomposición funcional de la cadena de valor, en este caso para el proceso y subprocesos que nos interesa desarrollar. El proceso primario de interés es Manufactura, los subprocesos que nos interesa desarrollar son Transformación y, de la descomposición de éste, el subproceso de Ensamble de Congeladores, y todos los subprocesos asociados en el nivel inferior. El diagrama de la jerarquía de procesos se muestra en la Figura 3.3.

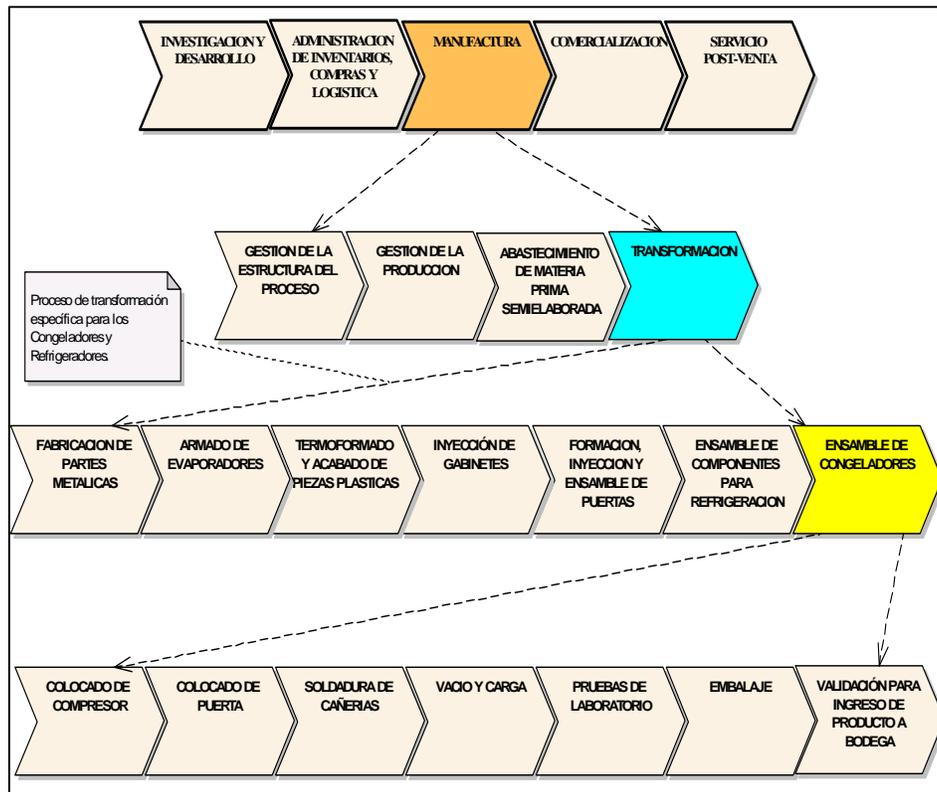


Figura 3.3 Descomposición de jerárquica de la cadena de valor para el proceso de Manufactura

Fuente: Autor

3.2.3 Diagramas de modelado de procesos

A continuación se detalla los modelos de procesos mediante diagramas, según lo propuesto en BMM, para los procesos que interesan de la cadena de valor.

En la Figura 3.4 se presenta el modelo del proceso primario de manufactura sus entradas son: la información del programa de producción mensual, la materia prima y accesorios que vienen del proceso de administración, compras y logística; las salidas del proceso de manufactura van a los procesos de comercialización y a administración de inventarios compras y logística, las cuales son: la información de las estadísticas de producción, la información de productos rechazados y reprocesados, la información de la cantidad de productos terminados, y físicamente el producto disponible en bodega de materia producto terminado.

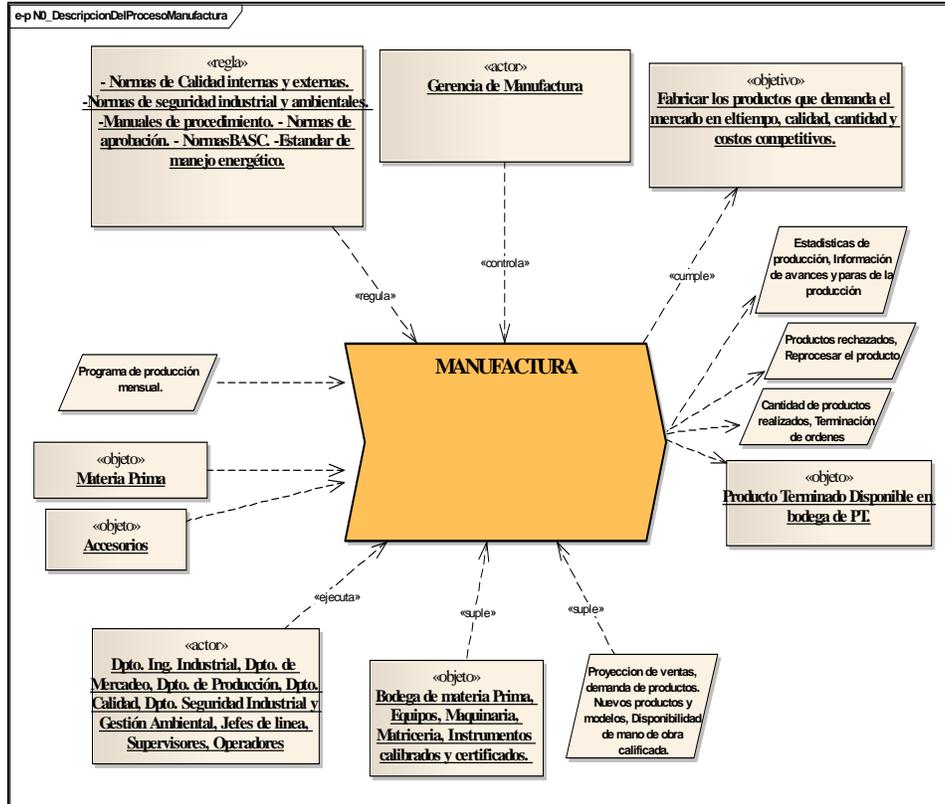


Figura 3.4 Diagrama de descripción del proceso de manufactura

Fuente: Autor

En la Figura 3.5 se presenta el modelo del subproceso de transformación, a este proceso le llegan las entradas de la información del programa de producción mensual, materia prima semielaborada, accesorios, proveniente de los procesos de manufactura y de abastecimiento de materia prima semielaborada, las salidas de este proceso se reflejan en el proceso primario que es manufactura.

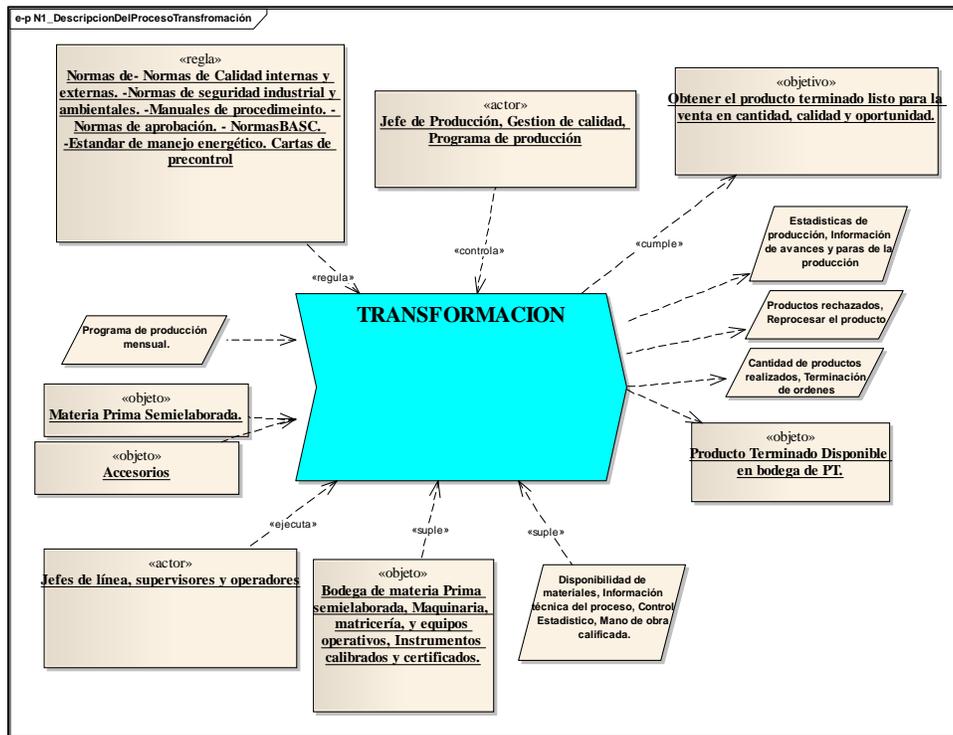


Figura 3.5 Diagrama de descripción del subproceso de Transformación

Fuente: Autor

En la Figura 3.6 se muestra el modelo del subproceso de ensamble de congeladores, las entradas de este proceso son las siguientes informaciones: programa de producción mensual, programa de producción diaria, y las entradas físicas de material son: piezas plásticas, puertas ensambladas, gabinetes, componentes armados y serigrafiados, y accesorios, estas entradas son provenientes de los subprocesos de gestión de la producción, ensamble de componentes para refrigeración, formación, inyección y ensamblaje de puertas, inyección de gabinetes y de termoformado.

Las salidas del proceso de ensamblaje de congeladores se ven reflejadas en las salidas del proceso de transformación, excepto la salida de productos rechazados, como objeto físico.

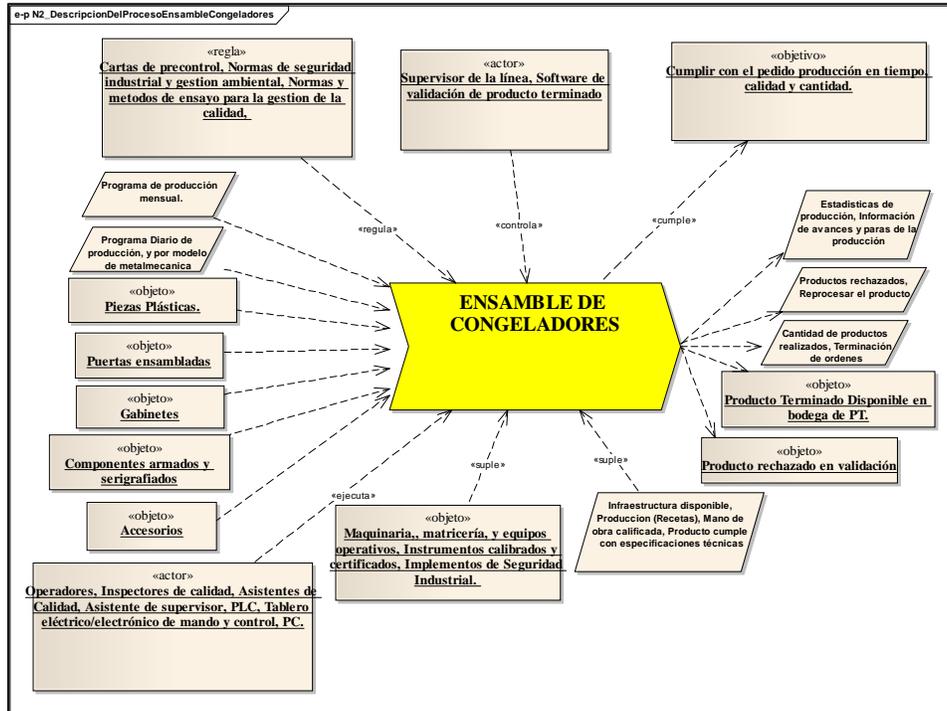


Figura 3.6 Diagrama de descripción del subproceso de Ensamble de congeladores
Fuente: Autor

Del subproceso de ensamble de congeladores se encuentran los subprocesos que interesan automatizar, a continuación se detallan cada uno de ellos.

En la Figura 3.7 se puede observar el modelo del subproceso colocado de compresor. A este proceso llegan como entradas los gabinetes y accesorios, provenientes del subproceso de inyección de gabinetes y de abastecimiento de materia prima semielaborada, la salida Gabinete con compresor, ventilador, control de temperatura y conexión eléctrica va al proceso de colocado de puerta.

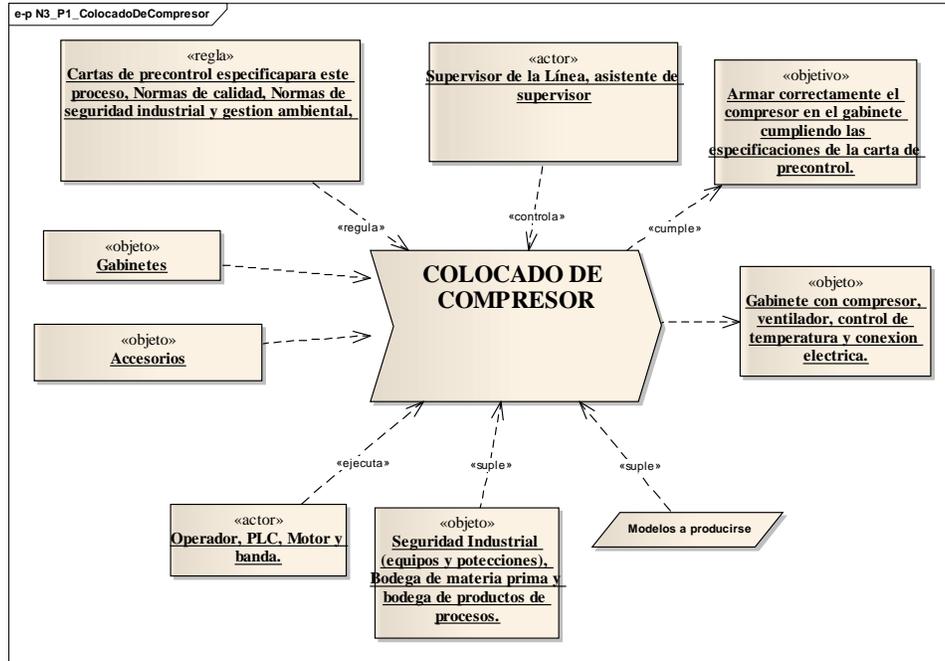


Figura 3.7 Diagrama de descripción del subproceso Colocado del compresor

Fuente: Autor

El modelo del subproceso colocado de puerta se puede observar en la Figura 3.8. Las entradas de este proceso son: el gabinete con el compresor colocado, piezas plásticas, puertas ensambladas, accesorios, provenientes de los procesos de colocado de compresor, termoformado y de formación, inyección y ensamble de puertas. La salida de este subproceso va como entrada al siguiente proceso que es la soldadura de cañerías.

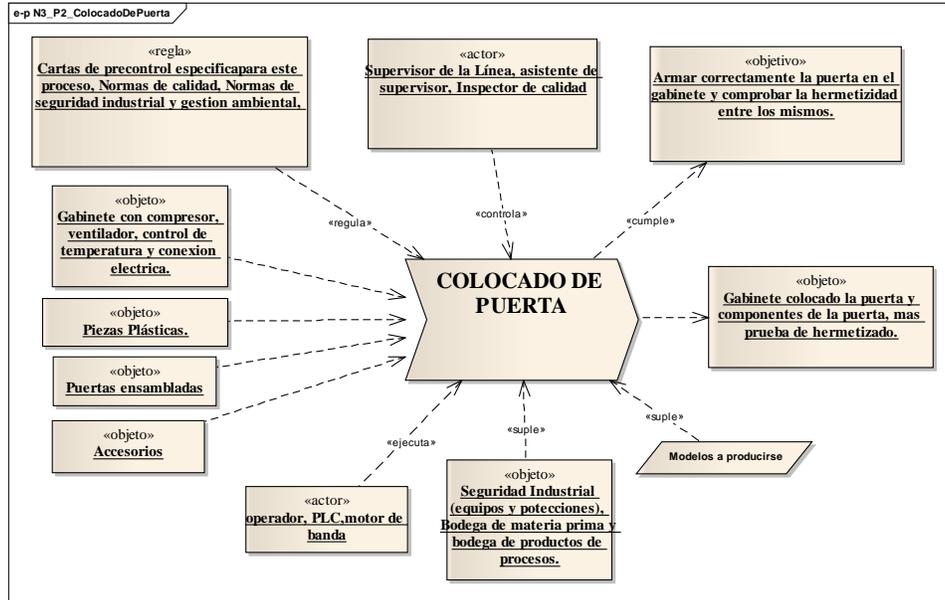


Figura 3.8 Diagrama de descripción del subproceso colocado de puerta
Fuente: Autor

El modelado del subproceso soldadura de cañerías se puede observar en la Figura 3.9. La entrada a este subproceso es el gabinete colocado la puerta y componentes de la puerta, proveniente del proceso colocado de puerta, la salida de este subproceso que es el gabinete listo para realizar las pruebas de vacío y carga va al subproceso de vacío y carga.

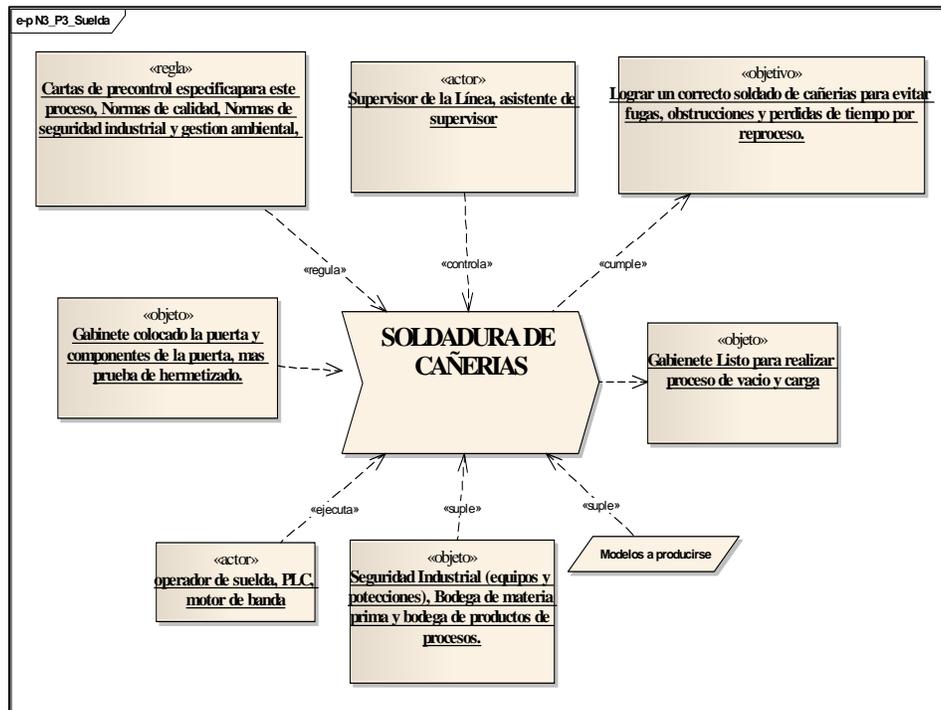


Figura 3.9 Diagrama de descripción del subproceso: Soldadura de cañerías
Fuente: Autor

En la Figura 3.10 se muestra el modelo del subproceso vacío y carga, la entrada a este subproceso es el gabinete listo para realizar el proceso de vacío y carga, que viene de la salida del subproceso soldadura de cañerías. Las salidas del proceso de vacío y carga son tres, la primera es el producto realizado la caga del gas refrigerante, la segunda salida, es el producto con fuga, a reprocesar y la tercera salida es la información de las estadísticas de los productos revisados.

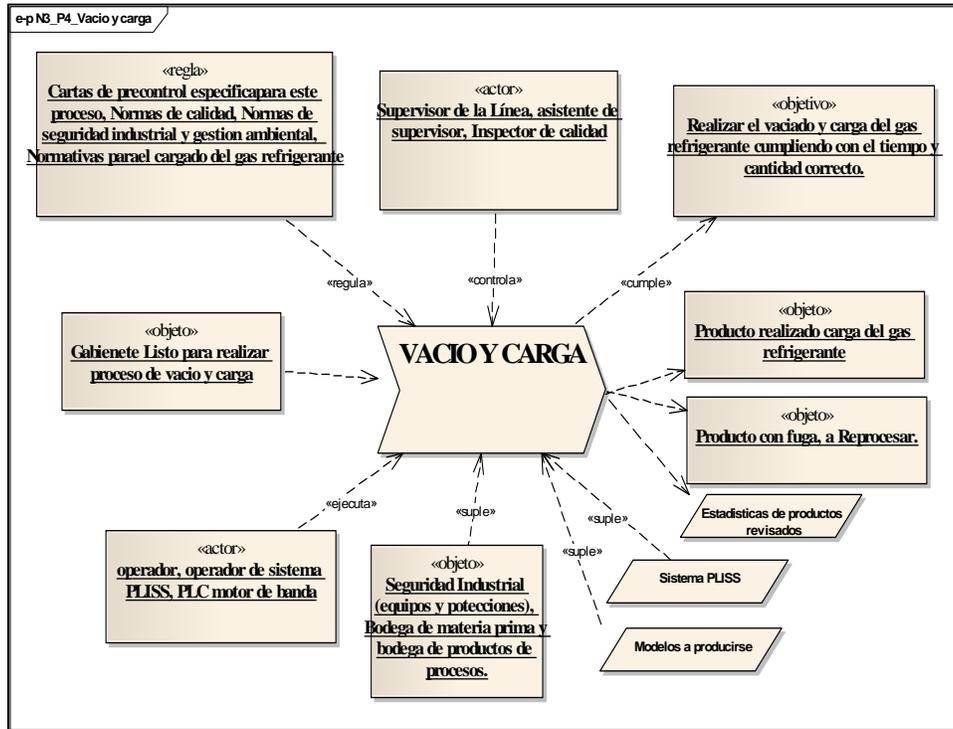


Figura 3.10 Diagrama de descripción del subproceso: Vacío y carga
Fuente: Autor

En la Figura 3.11 se ilustra el modelo del subproceso pruebas de laboratorio, a este subproceso le llegan tres entradas, la primera es la que sale del subproceso vacío y carga que es el producto realizado la carga del gas refrigerante, la segunda entrada que es componentes armados y serigrafiados proviene del subproceso ensamble de componentes para refrigeración y la tercera entrada es los accesorios que provienen del subproceso de abastecimiento de materia prima semielaborada.

Las salidas del subproceso pruebas de laboratorio son tres, la primera salida es el producto revisado y aprobado, listo para empaquetar; la segunda salida es el producto rechazado con fuga de corriente y que se tiene que reprocessar. La tercera salida indica la información de las estadísticas de productos revisados.

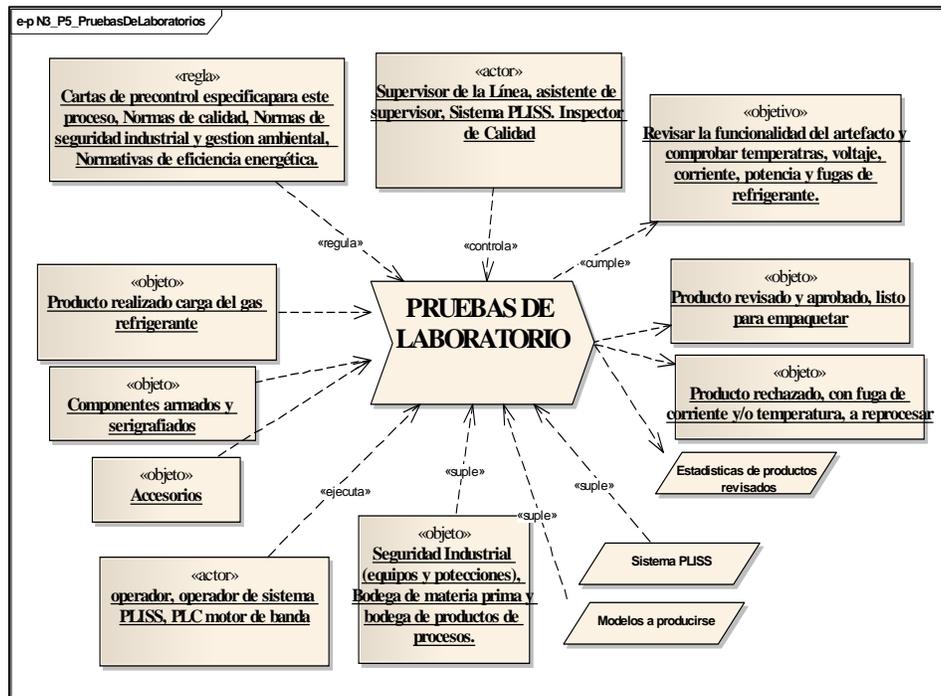


Figura 3.11 Diagrama de descripción del subproceso Pruebas de laboratorio

Fuente: Autor

En la Figura 3.12 se puede observar el modelo del subproceso de embalaje, en el cual se tienen como entrada la salida proveniente del subproceso pruebas de laboratorio, que es el producto revisado y aprobado, listo para empaquetar. La salida es el producto terminado y colocado la etiqueta del código de barras, que finalmente van al subproceso de validación para ingreso de producto a bodega.

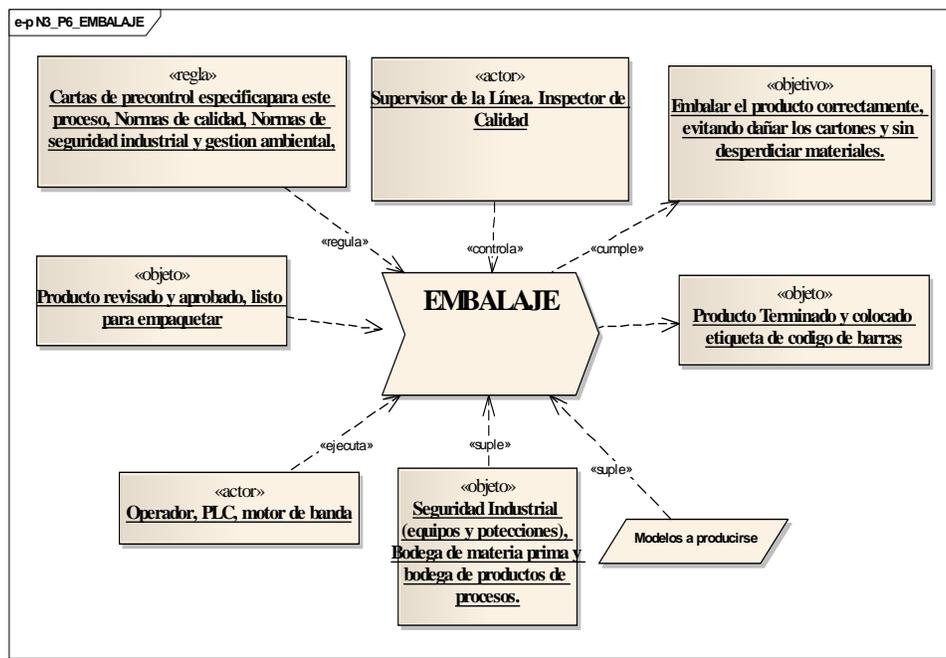


Figura 3.12 Diagrama de descripción del subproceso Embalaje
Fuente: Autor

El último subproceso es la validación para ingreso de producto a bodega, el modelo de dicho subproceso se ilustra en la Figura 3.13, la entrada a este subproceso viene desde el subproceso anterior, embalaje, es decir, el producto terminado y colocado la etiqueta de código de barras.

Las salidas del subproceso validación para ingreso de producto a bodega, son cuatro, las mismas que se ven reflejadas en el subproceso ensamble de congeladores. La primera salida es la información de la cantidad de productos rechazados y que se tiene que reprocessar, la segunda salida es la información de la cantidad de productos realizados, la tercera salida es el producto terminado disponible en bodega y la cuarta salida es el producto rechazado en la validación.

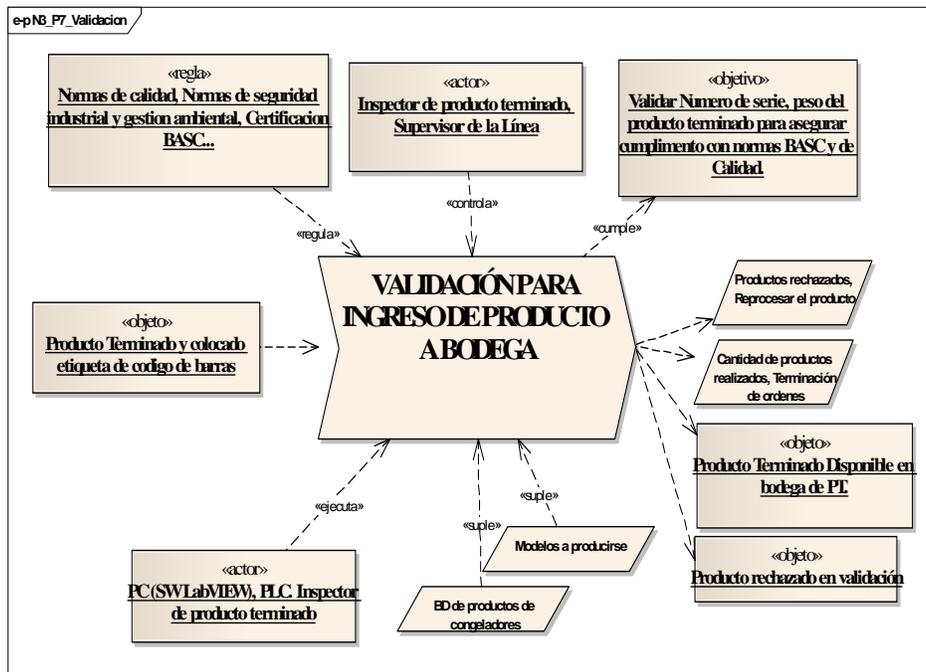


Figura 3.13 Diagrama de descripción del subproceso: Validación para ingreso de producto a bodega
Fuente: Autor

Una vez realizado los diagramas de descripción de los procesos y subprocesos se procede a diseñar los diagramas de actividades de los procesos o subproceso de más bajo nivel. En este caso, las actividades que son de interés en este trabajo son las actividades de control.

3.2.4 Diagramas de actividades de control

A continuación se presentan los diagramas de actividades de control para cada uno de los subproceso que permiten realizar el ensamble del congelador, en ellos se detalla cuáles son los requerimientos para que funcionen cada uno de los procesos. Básicamente las actividades de control consisten, en este caso, en el encendido y apagado de los motores de las bandas transportadoras de cada subproceso. En el diagrama de actividades del subproceso de validación para ingreso de producto en bodega se podrá observar la validación del producto en los que intervienen, la computadora, base de datos y el lector de código de barras.

En la Figura 3.14 se presenta el diagrama de actividades para control de la banda transportadora del subproceso de colocado de compresor. En la Tabla 3.1 se muestra la descripción de los elementos utilizados para el subproceso colocado e compresor.

Actuador	Descripción	Estado inicial	Valores posibles
M17	Motor que mueve la banda transportadora en donde se realiza el proceso “colocado de compresor”	apagado	Encendido (1) y apagado (0)
Sensores y activadores del proceso		Valor inicial	
T271	Tiempo de encendido del motor M17, el valor se carga desde el HMI.	off	OFF (0), ON (Tiempo alcanzado)
T8	Tiempo de pausa de las bandas transportadoras, el valor se carga desde el HMI.	off	OFF (0), ON (Tiempo alcanzado)
HMI_Ini_Sec	Pulsante de inicio de secuencia, este pulsante se encuentra en el HMI.	Apagado	Apagado (0) y encendido (1)
HMI_AUTO/MAN	Pulsante para colocar el proceso en modo manual y en modo automático, este pulsante se encuentra en el HMI	Manual (apagado)	Manual (0) y encendido (1)

Tabla 3.1 Elementos utilizados en el subproceso colocado de compresor

Fuente: Autor

Como aclaración, cuando se menciona a los temporizadores se habla de dos estados que pueden tener, OFF que indica que el temporizador no ha llegado al tiempo calibrado y ON que indica que el temporizador llegó al tiempo calibrado. La actividad “Resetear” que se pueden observar en los diagramas, hace referencia a que apaga todo los motores y también coloca en OFF ó 0 los temporizadores y pulsantes.

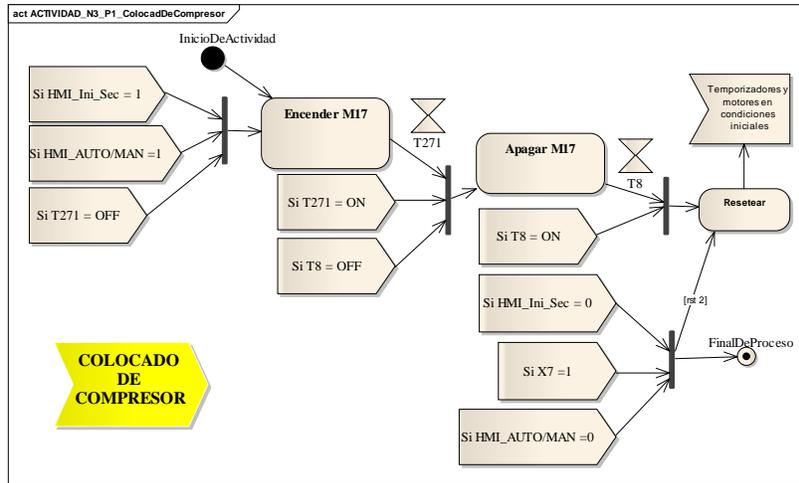


Figura 3.14 Diagrama de actividades del subproceso colocado de compresor
Fuente: Autor

En la Figura 3.15 se muestra el diagrama de actividades para el control de la banda transportadora del subproceso colocado de puerta. En la Tabla 3.2 se puede observar la descripción de los elementos usados para comandar el subproceso mencionado.

Actuador	Descripción	Estado inicial	Valores posibles
M16	Motor que mueve la banda transportadora en donde se realiza el proceso “colocado de puerta”	apagado	Encendido (1) y apagado (0)
Sensores y activadores del proceso		Valor inicial	
T272	Tiempo de encendido del motor M16, el valor se carga desde el HMI.	0	OFF (0), ON (Tiempo alcanzado)
T8	Tiempo de pausa de las bandas transportadoras, el valor se carga desde el HMI.	0	OFF (0), ON (Tiempo alcanzado)
HMI_Ini_Sec	Pulsante de inicio de secuencia, este pulsante se encuentra en el HMI.	Apagado	Apagado (0) y encendido (1)
HMI_AUTO/MAN	Pulsante para colocar el proceso en modo manual y en modo automático, este pulsante se encuentra en el HMI	Manual (apagado)	Manual (0) y encendido (1)

Tabla 3.2 Elementos utilizados en el subproceso colocado de puerta
Fuente: Autor

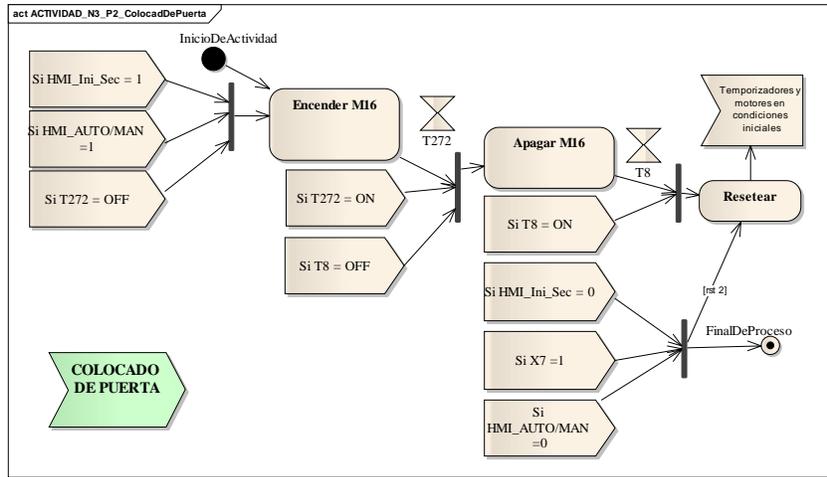


Figura 3.15 Diagrama de actividades del subproceso Colocado de puerta

Fuente: Autor

En la Figura 3.16 se muestra el diagrama de actividades para el control de la banda transportadora del subproceso soldadura de cañerías. En la Tabla 3.3 se muestra la descripción de los elementos usados para comandar el subproceso mencionado.

Actuador	Descripción	Estado inicial	Valores posibles
M14	Motor que mueve la banda transportadora en donde se realiza el proceso "soldadura de cañerías"	apagado	Encendido (1) y apagado (0)
Sensores y activadores del proceso		Valor inicial	
T273	Tiempo de encendido del motor M14, el valor se carga desde el HMI.	0	OFF (0), ON (Tiempo alcanzado)
T8	Tiempo de pausa de las bandas transportadoras, el valor se carga desde el HMI.	0	OFF (0), ON (Tiempo alcanzado)
HMI_Ini_Sec	Pulsante de inicio de secuencia, este pulsante se encuentra en el HMI.	Apagado	Apagado (0) y encendido (1)
HMI_AUTO/MAN	Pulsante para colocar el proceso en modo manual y en modo automático, este pulsante se encuentra en el HMI	Manual (apagado)	Manual (0) y encendido (1)

Tabla 3.3 Elementos utilizados en el subproceso soldadura de cañerías

Fuente: Autor

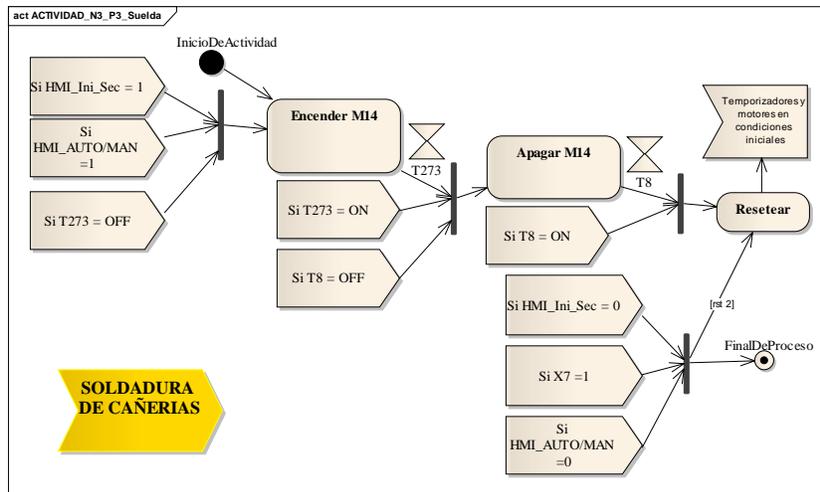


Figura 3.16 Diagrama de actividades del subproceso Soldadura de cañerías

Fuente: Autor

En la Figura 3.17 se muestra el diagrama de actividades para el control de la banda transportadora del subproceso vacío y carga. En la Tabla 3.4 se muestra la descripción de los elementos usados para comandar el subproceso mencionado.

Actuador	Descripción	Estado inicial	Valores posibles
M13	Motor que mueve la banda transportadora en donde se realiza el proceso “vacío y carga”	apagado	Encendido (1) y apagado (0)
Sensores y activadores del proceso		Valor inicial	
T274	Tiempo de encendido del motor M13, el valor se carga desde el HMI.	0	OFF (0), ON (Tiempo alcanzado)
T8	Tiempo de pausa de las bandas transportadoras, el valor se carga desde el HMI.	0	OFF (0), ON (Tiempo alcanzado)
HMI_Ini_Sec	Pulsante de inicio de secuencia, este pulsante se encuentra en el HMI.	Apagado	Apagado (0) y encendido (1)
HMI_AUTO/MAN	Pulsante para colocar el proceso en modo manual y en modo automático, este pulsante se encuentra en el HMI	Manual (apagado)	Manual (0) y encendido (1)

Tabla 3.4 Elementos utilizados en el subproceso vacío y carga

Fuente: Autor

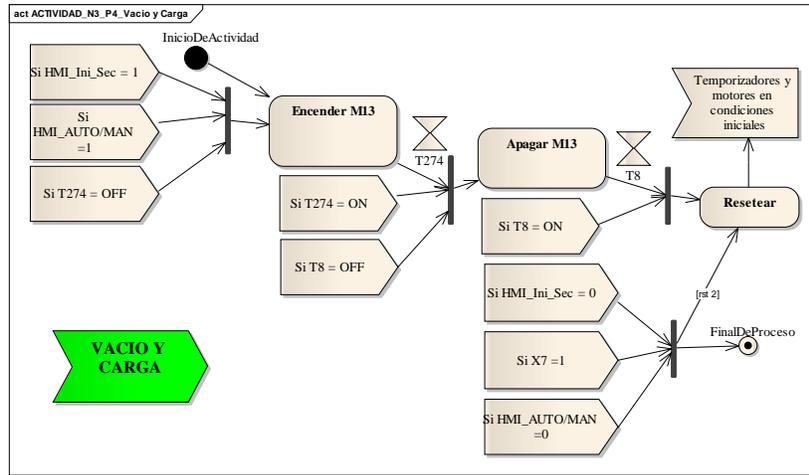


Figura 3.17 Diagrama de actividades del subproceso Vacío y Carga

Fuente: Autor

En la Figura 3.18 se muestra el diagrama de actividades para el control de la banda transportadora del subproceso pruebas de laboratorio. En la Tabla 3.5 se muestra la descripción de los elementos usados para comandar el subproceso mencionado.

Actuador	Descripción	Estado inicial	Valores posibles
M12	Motor que mueve la banda transportadora en donde se realiza el proceso "pruebas de laboratorio"	apagado	Encendido (1) y apagado (0)
Sensores y activadores del proceso		Valor inicial	
T275	Tiempo de encendido del motor M12, el valor se carga desde el HMI.	0	OFF (0), ON (Tiempo alcanzado)
T8	Tiempo de pausa de las bandas transportadoras, el valor se carga desde el HMI.	0	OFF (0), ON (Tiempo alcanzado)
HMI_Ini_Sec	Pulsante de inicio de secuencia, este pulsante se encuentra en el HMI.	Apagado	Apagado (0) y encendido (1)
HMI_AUTO/MAN	Pulsante para colocar el proceso en modo manual y en modo automático, este pulsante se encuentra en el HMI	Manual (apagado)	Manual (0) y encendido (1)

Tabla 3.5 Elementos utilizados en el subproceso pruebas de laboratorio

Fuente: Autor

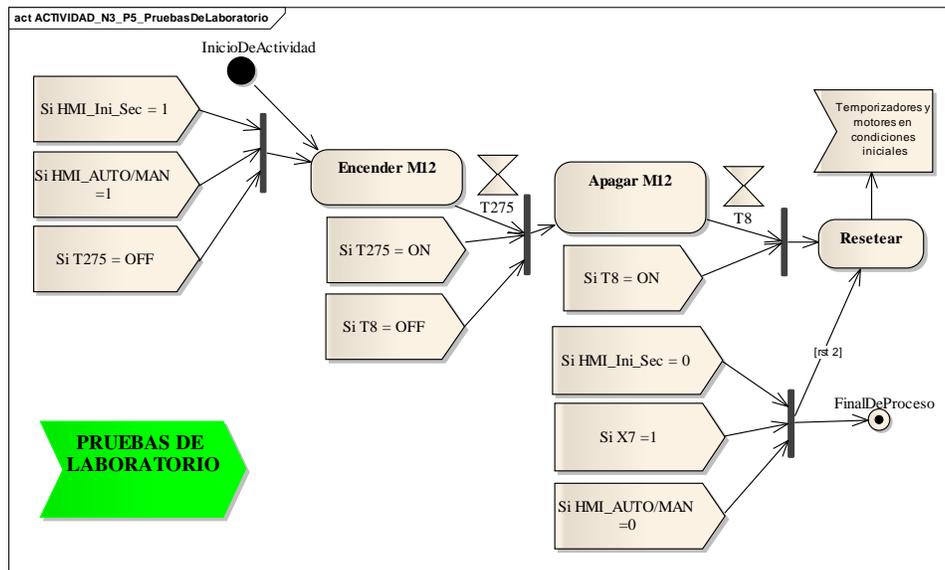


Figura 3.18 Diagrama de actividades para el subproceso Pruebas de laboratorio

Fuente: Autor

En la Figura 3.19 se muestra el diagrama de actividades para el control de la banda transportadora del subproceso embalaje. En la Tabla 3.6 se muestra la descripción de los elementos usados para comandar el subproceso mencionado.

En este proceso, a diferencia de los anteriores, el encendido y apagado de los motores puede darse mediante dos vías, la una mediante on1 y off1 que respetan la secuencia por tiempos de encendido y apagado y la segunda opción es debido a que es necesario encenderla cuando el sensor FTC_X51 este en 1, que indica presencia de producto para activar la lectura del código de barras y así transportar el producto hacia el transfer 3 que permitirá el rechazo del producto o el ingreso del mismo a la bodega. Es decir el encendido y apagado de la banda transportadora “M11” es también por activación de los sensores.

Actuador	Descripción	Estado inicial	Valores posibles
M11	Motor que mueve la banda transportadora en donde se realiza el proceso “embalaje”	apagado	Encendido (1) y apagado (0)
Sensores y activadores del proceso		Valor inicial	
T276	Tiempo de encendido del motor M11, el valor se carga desde el HMI.	0	OFF (0), ON (Tiempo alcanzado)
T8	Tiempo de pausa de las bandas transportadoras, el valor se carga desde el HMI.	0	OFF (0), ON (Tiempo alcanzado)
HMI_Ini_Sec	Pulsante de inicio de secuencia, este pulsante se encuentra en el HMI.	Apagado	Apagado (0) y encendido (1)
HMI_AUTO/MAN	Pulsante para colocar el proceso en modo manual y en modo automático, este pulsante se encuentra en el HMI	Manual (apagado)	Manual (0) y encendido (1)
X7	Pulsante de emergencia, detiene el funcionamiento total de la línea de ensamble de congeladores e ingreso de producto terminado.	Activado o desactivado	Activado (1) desactivado (0)
FTC_X43	Fotocélula, detector de presencia de producto en el transfer 3, para rechazo de producto	ON/OFF	ON (1), OFF (0)
FTC_X50	Fotocélula, detector de presencia de producto en la línea de embalaje, permite activar la cadena del transfer 3.	ON/OFF	ON (1), OFF (0)
FTC_X51	Fotocélula, detector de presencia de producto en la línea de embalaje, permite activar la lectura del código de barras.	ON/OFF	ON (1), OFF (0)
FTC_X41	Fotocélula, detector de presencia de producto en el transfer 3, detector de seguridad para verificar si no está algún producto dentro del transfer.	ON/OFF	ON (1), OFF (0)
FTC_X42	Fotocélula, detector de presencia de producto en el transfer 3, indica que el producto está en el tope del transfer 3.	ON/OFF	ON (1), OFF (0)
FTC_X35	Fotocélula, detector de presencia de producto en el transfer 3, indica que el congelador está dentro del transfer 3.	ON/OFF	ON (1), OFF (0)

Tabla 3.6 Elementos utilizados en el sub proceso embalaje

Fuente: Autor

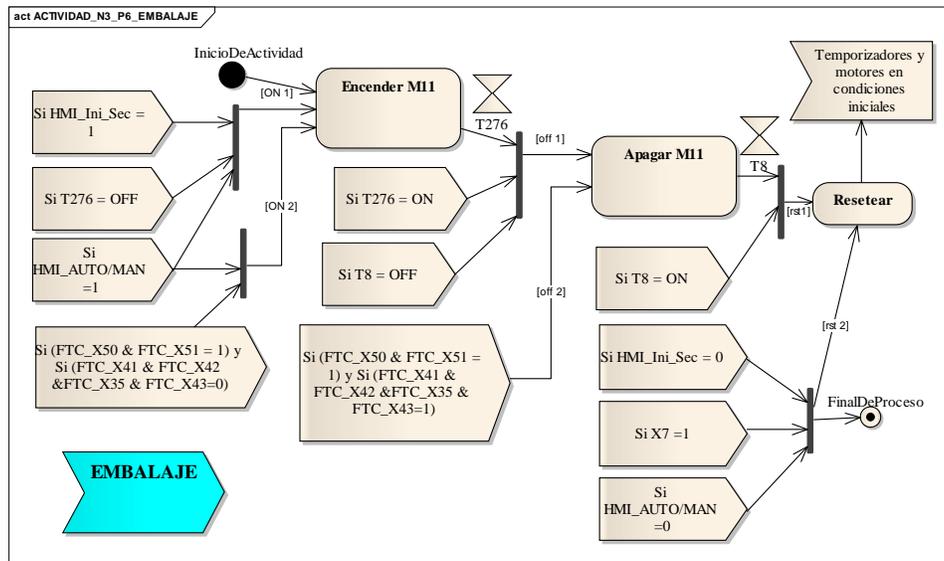


Figura 3.19 Diagrama de actividades de control para el subproceso Embalaje
Fuente: Autor

A continuación se describe el proceso de validación del producto para poder ingresar a bodega de producto terminado. Este es el proceso más largo de diagramar por lo que se mostrará dividido en diferentes partes.

En la Figura 3.20, se presenta la parte del diagrama de actividades para control de la lectura del código de barras, una vez activado el lector este envía la información a la computadora donde el software LabVIEW esperara por la lectura del peso.

En la Tabla 3.7 se presentan los elementos usados dentro del diagrama de control para la parte de la lectura del código de barras.

Actuador	Descripción	Estado inicial	Valores posibles
Lector de código de barras	Permite la lectura del código de barras de la etiqueta del congelador.	apagado	Activado (1) y desactivado (0)
Sensores y activadores del proceso		Valor inicial	
HMI_AUTO/MAN	Pulsante para colocar el proceso en modo manual y en modo automático, este pulsante se encuentra en el HMI	Manual (apagado)	Manual (0) y encendido (1)
LCB_Activado	Es un pulsante colocado en la pantalla HMI y en la PC para activar o desactivar el lector de código de barras. En caso de que se dañe el lector, el ensamblaje debe continuar normalmente hasta arreglarlo o sustituirlo.	Activado	Activado (1) y desactivado (0)
X7	Pulsante de emergencia, detiene el funcionamiento total de la línea de ensamble de congeladores e ingreso de producto terminado.	Activado o desactivado	Activado (1) desactivado (0)
FTC_X50	Fotocélula, detector de presencia de producto en la línea de embalaje, permite activar la cadena del transfer 3.	ON/OFF	ON (1), OFF (0)
FTC_X51	Fotocélula, detector de presencia de producto en la línea de embalaje, permite activar la lectura del código de barras.	ON/OFF	ON (1), OFF (0)

Tabla 3.7 Elementos utilizados en la actividad de control para la lectura del código de barras

Fuente: Autor

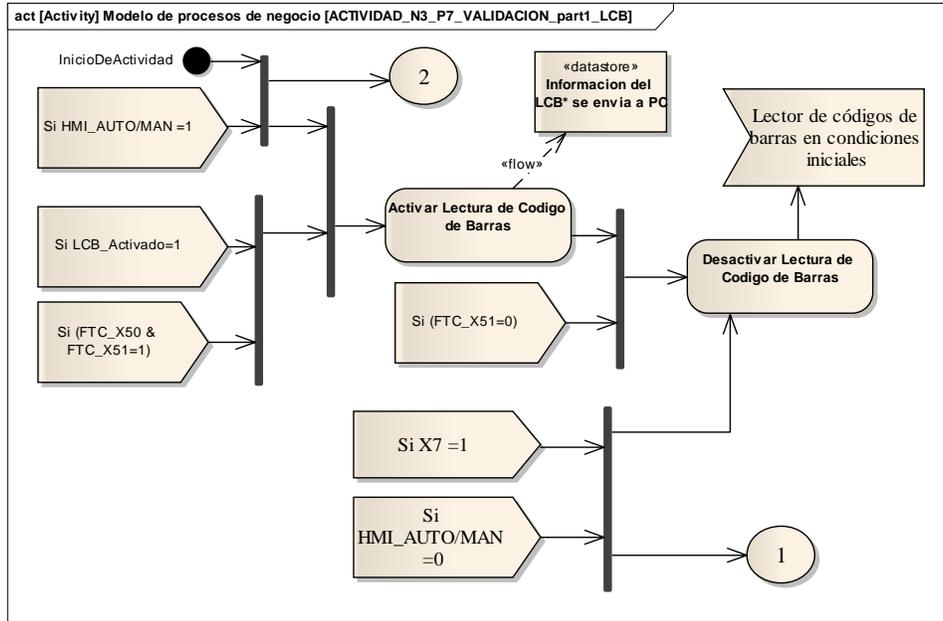


Figura 3.20 Diagrama de actividades de control para el subproceso de validación de producto para ingreso a bodega, lectura del código de barras
Fuente: Autor

En la Figura 3.21 se muestra la parte del diagrama de actividades de control para manipular el motor de la cadena del transfer 3, que lleva el producto terminado hasta la balanza.

En la Tabla 3.8 se presentan los elementos usados dentro del diagrama de control para la parte del encendido y apagado del motor M10, del transfer 3.

Actuador	Descripción	Estado inicial	Valores posibles
M10	Motor de la cadena del transfer 3, se encarga de llevar el producto terminado (congelador) desde M11 hasta el tope donde el detector de proximidad FTC_X42 indica que llego al tope y posteriormente realizar el pesaje.	Apagado	Encender (1) y Apagar (0)
EV_Y33	Electroválvula que activa el pistón para levantar la cadena del transfer 3 y que permita mover el producto por M10.	Apagado	Encender (1) y Apagar (0)
Sensores y activadores del proceso		Valor inicial	
HMI_Ini_Sec	Pulsante de inicio de secuencia, este pulsante se encuentra en el HMI.	Apagado	Apagado (0) y encendido (1)
LCB_Activado	Es un pulsante colocado en la pantalla HMI y en la PC para activar o desactivar el lector de código de barras. En caso de que se dañe el lector, el ensamblaje debe continuar normalmente hasta arreglarlo o sustituirlo.	Activado	Activado (1) y desactivado (0)
FTC_X50	Fotocélula, detector de presencia de producto en la línea de embalaje, permite activar la cadena del transfer 3.	ON/OFF	ON (1), OFF (0)
FTC_X51	Fotocélula, detector de presencia de producto en la línea de embalaje, permite activar la lectura del código de barras.	ON/OFF	ON (1), OFF (0)
FTC_X42	Fotocélula, detector de presencia de producto en el transfer 3, indica que el producto está en el tope del transfer 3.	ON/OFF	ON (1), OFF (0)
FTC_X41	Fotocélula, detector de presencia de producto en el transfer 3, detector de seguridad para verificar si no está algún producto dentro del transfer.	ON/OFF	ON (1), OFF (0)
FTC_X40	Fotocélula, detector de presencia de producto en el transfer 3, detector de seguridad (2) para verificar si no está algún producto dentro del transfer.	ON/OFF	ON (1), OFF (0)

Tabla 3.8 Elementos utilizados en la actividad de control para el motor de la cadena del transfer 3

Fuente: Autor

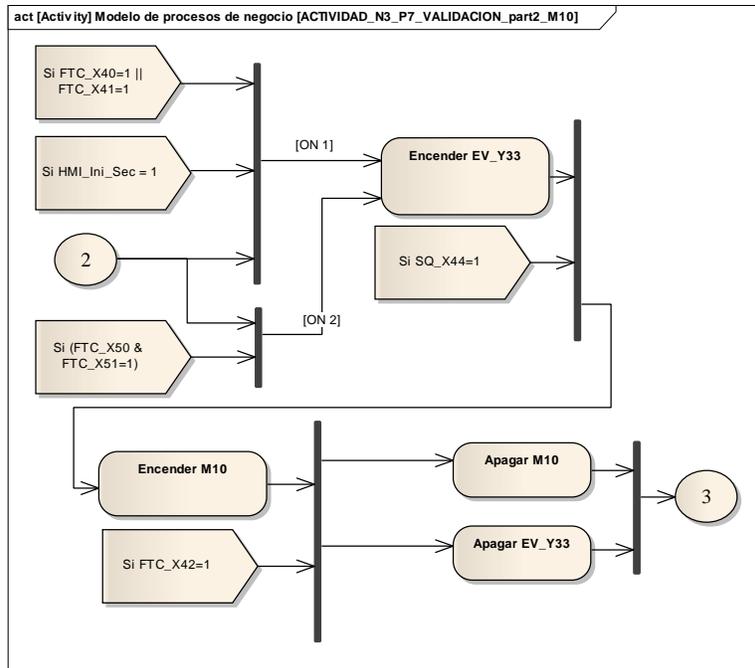


Figura 3.21 Diagrama de actividades de control para el subproceso de validación de producto para ingreso a bodega, control del motor que lleva el producto hasta la balanza

Fuente: Autor

En la Figura 3.22 se muestra el diagrama de actividades de control para la parte de la lectura del peso del producto terminado.

En la Tabla 3.9 se presentan los elementos usados dentro del diagrama de control para la parte de la lectura del peso.

Sensores y activadores del proceso	Descripción	Estado inicial	Valores posibles
FTC_X42	Fotocélula, detector de presencia de producto en el transfer 3, indica que el producto está en el tope del transfer 3.	ON/OFF	ON (1), OFF (0)
Balanza_Activado	Desde el HMI o desde la PC se puede activar o desactivar la balanza, esto en caso de que la balanza se dañe se desactivara, permitiendo que los productos pasen sin pesarse	ON	ON (1), OFF (0)

Tabla 3.9 Elementos utilizados en la actividad de control para la lectura del peso

Fuente: Autor

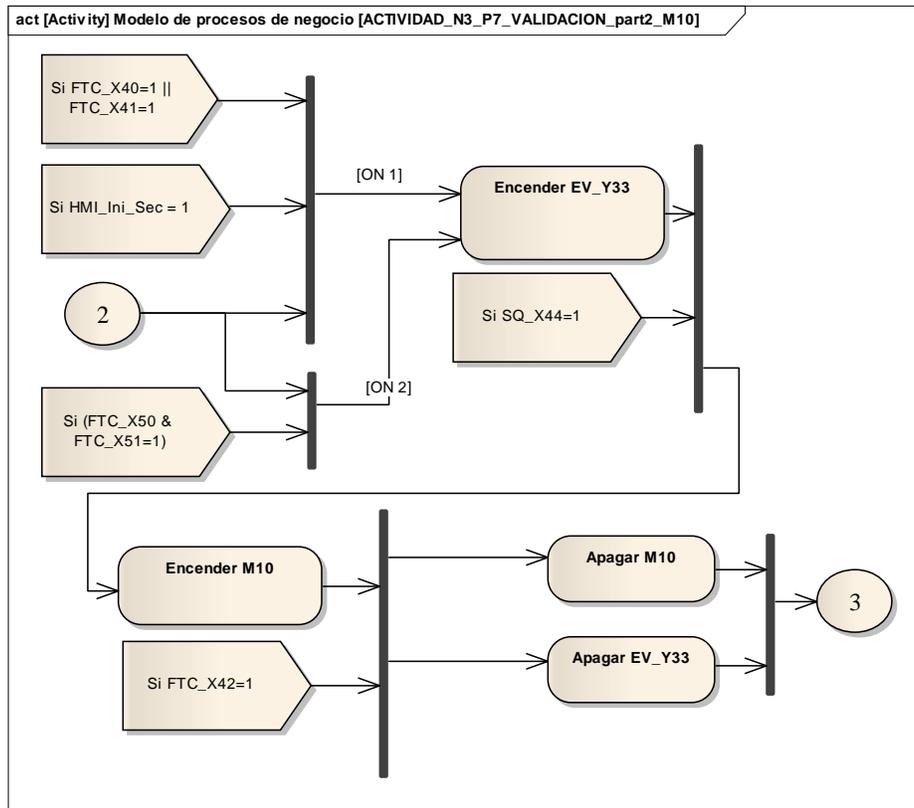


Figura 3.22 Diagrama de actividades de control para el subproceso de validación de producto para ingreso a bodega, lectura del peso
Fuente: Autor

La última parte del diagrama de actividades de control se muestra en la Figura 3.23, en esta figura se puede observar la parte de validación del producto, en caso de que la validación sea correcta el producto pasa a bodega, caso contrario será rechazado. La información de validación del producto va desde la PC hacia el PLC. En la Tabla 3.10 se presentan los elementos usados dentro del diagrama de control para la parte de validación del producto terminado.

Actuador	Descripción	Estado inicial	Valores posibles
M9_Ingreso	Motor de los rodillos del transfer 3 que permiten ingresar el producto terminado a bodega.	Apagado	Encender (1) y Apagar (0)
M9_Rechazo	Motor de los rodillos del transfer 3 que permiten que se rechace el producto terminado por no cumplir la validación del producto. M9_Ingreso y M9_Rechazo es el mismo motor, el cual tiene inversión de giro.	Apagado	Encender (1) y Apagar (0)
M8_Sube	Motor que abre la puerta para que ingrese el producto terminado a bodega.	Apagado	Encender (1) y Apagar (0)
M8_Baja	Motor que cierra la puerta de ingreso de producto terminado. M8_Sube y M8_Baja, es el mismo motor M8, el cual tiene inversión de giro.	Apagado	Encender (1) y Apagar (0)
M7	Motor de la banda de bodega de producto terminado que permite sacar el producto que esta entre el transfer 3 y bodega.	Apagado	Encender (1) y Apagar (0)
Sensores y activadores del proceso		Valor inicial	
FTC_X41	Fotocélula, detector de presencia de producto en el transfer 3, detector de seguridad para verificar si no está algún producto dentro del transfer.	ON/OFF	ON (1), OFF (0)
FTC_X42	Fotocélula, detector de presencia de producto en el transfer 3, indica que el producto está en el tope del transfer 3.	ON/OFF	ON (1), OFF (0)
FTC_X43	Fotocélula, detector de presencia de producto en el transfer 3, para rechazo de producto	ON/OFF	ON (1), OFF (0)
FTC_X35	Fotocélula, detector de presencia de producto en el transfer 3, indica que el congelador está dentro del transfer 3.	ON/OFF	ON (1), OFF (0)
FTC_X34	Fotocélula, detector de presencia de producto en M7, permite una vez que no detecte presencia cerrar la puerta M8 y M9	ON/OFF	ON (1), OFF (0)
FC_X36	Fin de carrera, indica si la puerta está cerrada si está en ON (1)	OFF (0)	ON (1), OFF (0)
FC_X37	Fin de carrera, indica si la puerta está cerrada si está en ON (1)	ON (1)	ON (1), OFF (0)

Tabla 3.10 Elementos utilizados en la actividad de control para la validación del producto

Fuente: Autor

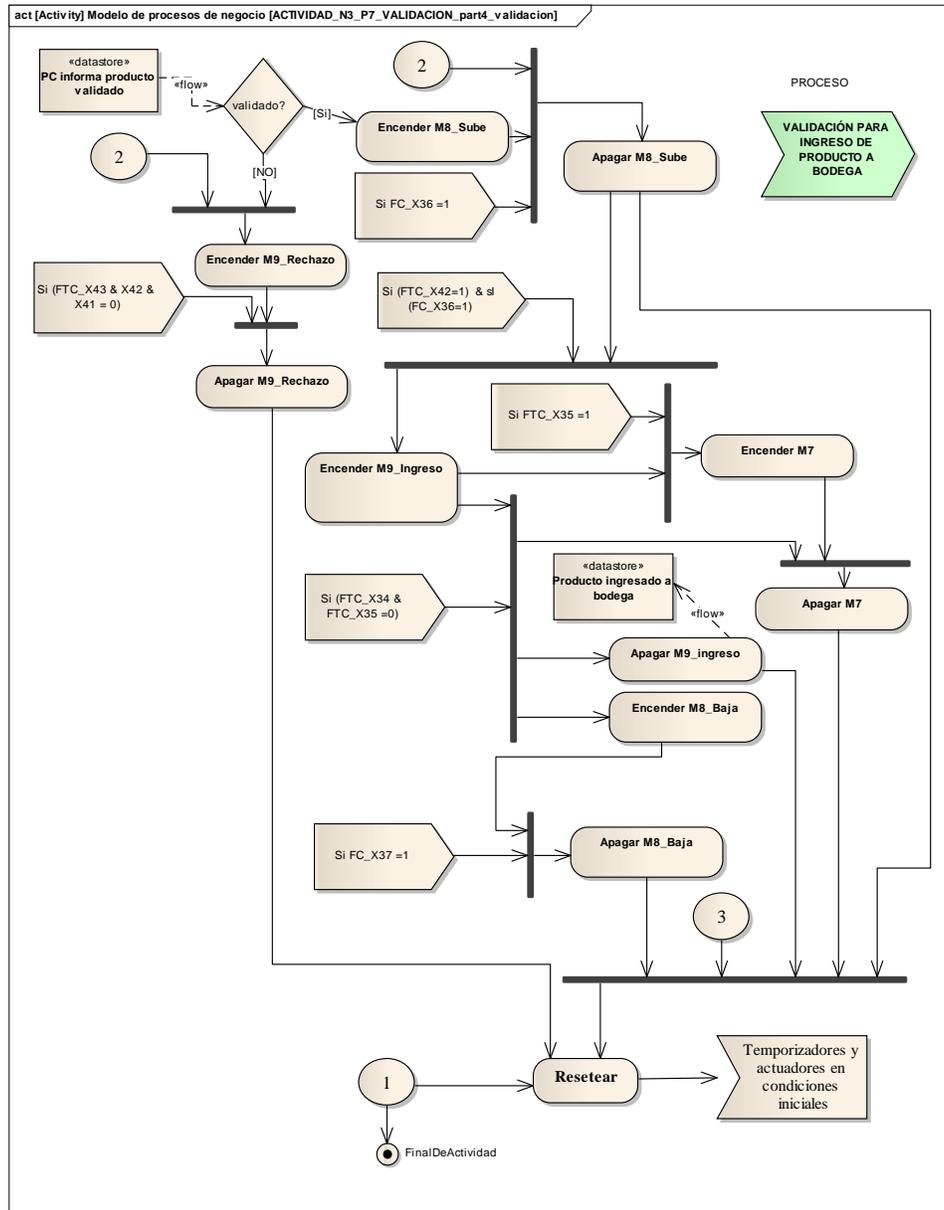


Figura 3.23 Diagrama de actividades de control para el subproceso de validación de producto para ingreso a bodega, validación del producto, rechazo/ingreso del producto terminado

Fuente: Autor

3.3 Diseño de la metodología GEMMA

Para el desarrollo de la guía GEMMA se basa en los resultados de la información obtenida del modelado de negocios, sobre todo del diagrama de actividades de control. Esta información nos detalla el comportamiento del sistema y como funciona cada banda transportadora donde se realiza cada uno de los procesos. Adicionalmente provee información de los sensores que utiliza y que función cumplen dentro del proceso, esto se puede observar en el proceso de validación del producto.

En la Figura 3.24 se presenta el modelo GEMMA que indica los modos de marcha y parada para la línea de ensamble de congeladores e ingreso de producto terminado a bodega.

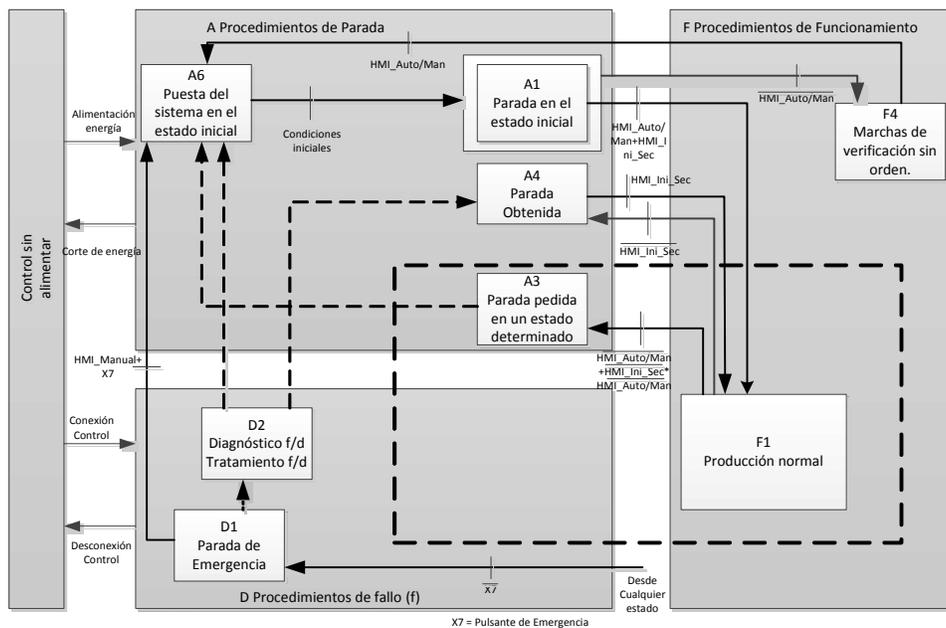


Figura 3.24 Grafico GEMMA de la Línea de ensamble de congeladores e ingreso a bodega

Fuente: Autor

Los estados de GEMMA propuestos y que se muestran en la Figura 3.24son:

A1: El estado A1, Parada en estado inicial, es donde se contempla el estado de reposo del proceso. Desde el HMI se puede acceder a los botones de puesta en automático e inicio de la secuencia, que darán paso al estado F1.

F1: Cuando se pone en marcha la línea de ensamble de congeladores, ésta entra en el estado F1, que es el de producción normal, es decir se procede a realizar todos los procesos que implican el ensamble del congelador, validación e ingreso del producto terminado a bodega. En este estado es donde el PLC ejecuta la secuencia de modo automático, tomando en cuenta los tiempos de avance y pausa, en el caso de la línea de ensamble y las condiciones necesarias para realizar la validación del producto como la comunicación con la computadora, entre otros.

D1: El paro de emergencia hace que todos los movimientos del proceso se detengan automáticamente, es decir que los motores dejan de funcionar. En este caso se activa si se ha pulsado el botón de emergencia y el proceso debe interrumpirse.

D2: en este caso es información la que fluye por este proceso, que se visualiza en la HMI, todos los errores que están ocurriendo en el proceso, como pulsantes de emergencia activados, guarda-motores activados, el diagnóstico se hace con ayuda de los operarios y sobre todo con el departamento de mantenimiento que realizara el diagnóstico y tratamiento de la falla, en caso de detectarse una falla el operario accionará el pulsante de emergencia, en el caso de que por ejemplo una banda este trabada.

F4: También se toma en cuenta un estado de marcha en modo manual, en donde el encargado de la línea de ensamble podrá mover las bandas seleccionas desde el HMI en modo manual.

A4: “parada obtenida” permite al encargado de la línea o el supervisor detener el avance solo de las líneas de ensamble, o ya sea en el caso de que falte material, o los productos están avanzando muy rápido. Este estado se activa desde el HMI con el botón de iniciar ciclo.

A3: “Parada pedida en un estado determinado”, en este caso el encargado de la línea o el supervisor puede detener todo el proceso sin necesidad de pulsar el botón emergencia, en este caso se interrumpen todas las operaciones y se colocan en manual.

A6: “Puesta del sistema en el estado inicial” es utilizado cuando el sistema está en automático y por cuestiones de seguridad, en el caso de que se pulse el botón de seguridad, o se activen los guarda-motores, se coloque el sistema en modo manual. Y puede también ser por decisión del encargado o supervisor de la línea que necesita poner en modo manual.

Una vez desarrollado el modelo GEMMA, se desarrolla el Grafcet correspondiente, que se muestra en la Figura 3.25, donde se puede observar la evolución del proceso, tanto en modo normal, como en condiciones de falla y las acciones correspondientes que debe tomar el sistema de control para llevar al proceso a un modo seguro.

En la Tabla 3.11 se presenta las transiciones correspondientes del Grafcet que se ha desarrollado.

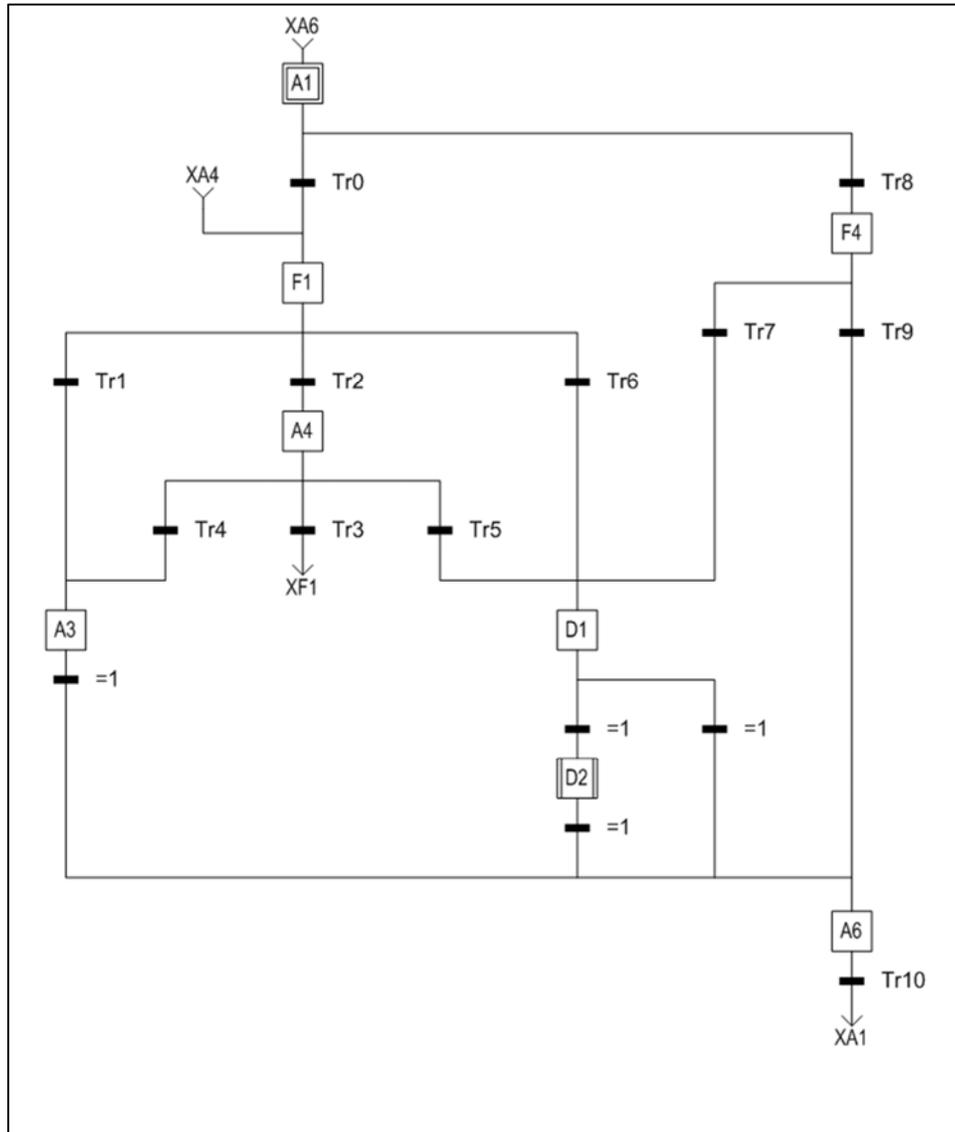


Figura 3.25 Graficet del modelo GEMMA de la línea de ensamble e ingreso a bodega
Fuente: Autor

Transición	Acción
Tr0	$(HMI_Auto/Man=1 * HMI_Ini_Sec=1)$ Inicia el proceso en modo automático. (F1)
Tr1	$(HMI_Auto_Man=0 * HMI_Ini_Sec=0 + HMI_Auto/Man=0)$ Parada solicitada en un estado determinado. (A3)
Tr2	$(HMI_INI_Sec=0)$ Parada Obtenida (A4)
Tr3	$(HMI_Auto_Man=1 * HMI_Ini_Sec=1)$ Vuelve a poner el proceso en funcionamiento. (F1)
Tr4	$(HMI_Auto/Man=0)$ Parada solicitada en un estado determinado. (A3)
Tr5	$(X7=1)$ Parada de emergencia. (D1).
Tr6	$(X7=1)$ Parada de emergencia. (D1).
Tr7	$(X7=1)$ Parada de emergencia. (D1).
Tr8	$(HMI_Auto/Man=0)$ Modo manual. (F4).
Tr9	$(HMI_Auto/Man=1)$ Puesta del sistema en estado inicial. (A6).
TR10	$(Resetear- Condiciones\ iniciales)$ Pone al sistema en el estado inicial. (A1).

Tabla 3.11 Transiciones asociadas al Grafset

Fuente: Autor

Para cada estado del Grafset, que representa básicamente los estados del GEMMA, se ha desarrollado un programa en Ladder, que permite realizar el control de cada uno de dichos estados. La razón de usar el Ladder es porque el software de programación que se usó solo permite realizar la programación usando este lenguaje.

Estado A1: este es el estado inicial, donde las salidas que controlan los actuadores están apagadas o reseteadas, al igual que los temporizadores. El estado inicial puede darse por dos casos, el primer caso es porque el PLC se reinició o se prendió, ya sea por un corte de energía o porque el personal técnico así lo requiere, en este caso el reinicio de dichas salidas y temporizadores es automático (se encarga el propio PLC). Y la segunda opción es porque se accionó el pulsante de emergencia o se puso el sistema en modo manual, para este caso si es requerimiento realizar la programación específica para realizar la tarea de resetear las salidas y temporizadores. En este estado espera que se accione el modo automático para regresar al estado F1, que es el de producción

normal, o si se acciona el modo manual permitirá estar en el estado F4. El estado A6 y el estado A3 es parte del estado A1 para la programación realizada en el PLC.

En la Figura 3.26 se observa la parte de la programación donde se resetea las salidas del PLC. En la Figura 3.27 se observa la parte del programa donde se resetea los temporizadores. En la Tabla 3.12 se observa la descripción de los contactos y bobinas realizadas en el Ladder para las figuras anteriormente mencionadas.

Salida	Descripción
Y024	M7 banda salida de puerta
Y025	M8 motor puerta sube
Y026	M8 motor puerta baja
Y030	M9 rodillos ingreso a bodega TRF3
Y031	M9 rodillos rechazo producto TRF3
Y032	M10 cadena transfer 3
Y033	E.V transfer 3 (rechaz-ingreso)
Y034	M11 Embalaje y LCBarras
Y036	E.V volteador a M11
Y040	M12 banda pruebas de laboratorio
Y042	M13 vacío y carga
Y044	M14 banda puesto de suelda
Y047	M16 banda colocado puertas
Y051	M17 banda de colocado de compres
M7	Pulsante de emergencia activado
M0	HMI Automático / Manual
T8	Tiempo de Pausa
T271	Tiempo ON banda Compresor
T272	Tiempo ON banda Puertas
T273	Tiempo ON banda Suelda
T724	Tiempo ON banda vacío y carga
T275	Tiempo ON banda Laboratorios
T276	Tiempo ON banda Embalaje
T105	Tiempo para pesaje

Tabla 3.12 Descripción de los contactos y bobinas del Ladder que se muestra en la Figura 3.26

Fuente: Autor

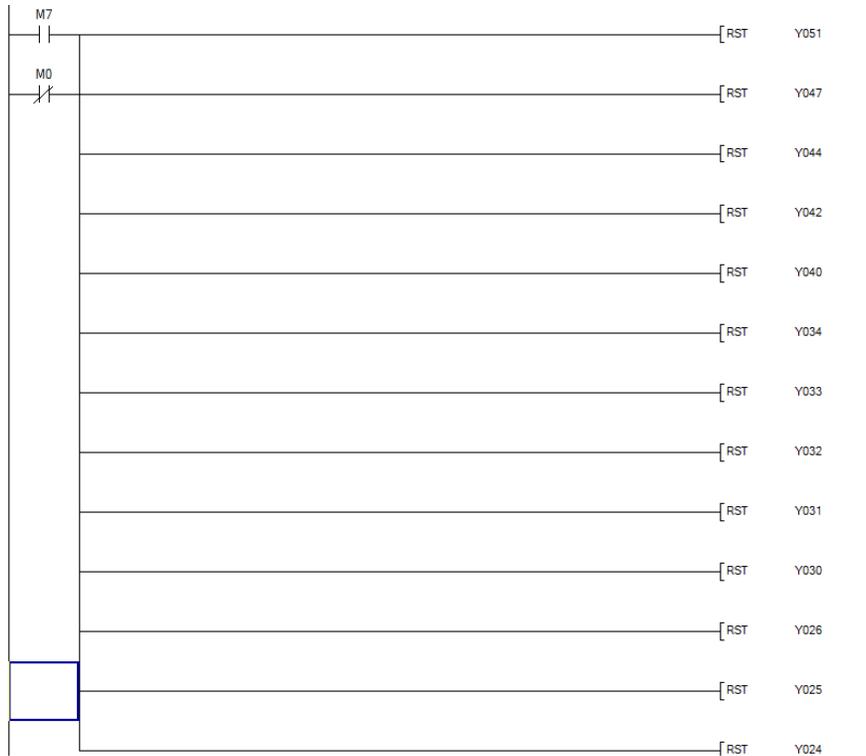


Figura 3.26 *Resetear las salidas del PLC*

Fuente: *Autor*



Figura 3.27 *Reseteo de temporizadores*

Fuente: *Autor*

Para el estado F4, se accede en modo manual, siempre y cuando el pulsante de emergencia no este activado. El modo manual funciona para las bandas donde se realiza el proceso de ensamblaje. Para el mando manual se puede acceder desde el HMI, para comandar cada banda. Como el mando manual es parecido para todas las bandas, en la Figura 3.28 se muestra un ejemplo para la banda de colocado del compresor, básicamente el control se lo hace seleccionando la banda que se desea mover y luego presionando el botón para mover las bandas seleccionadas, como se muestra en la Figura 3.29.

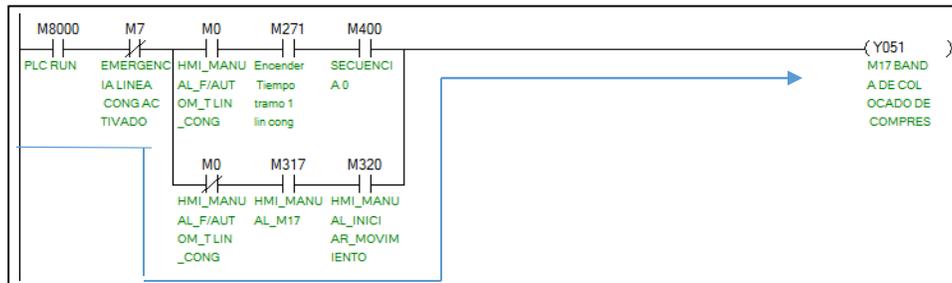


Figura 3.28 Ejemplo del programa Ladder

Fuente: Autor

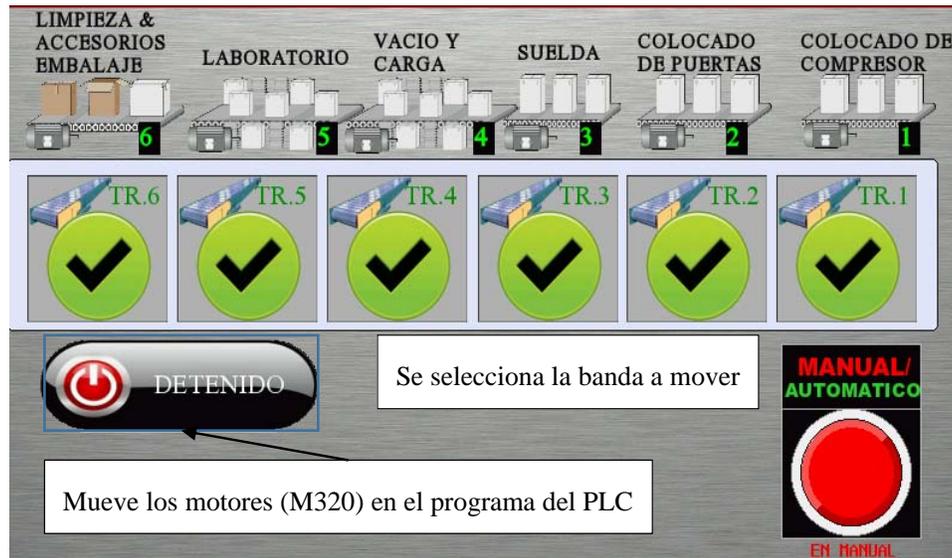


Figura 3.29 Menú manual del HMI para controlar las bandas

Fuente: Autor

Para la producción normal, el estado F1, funciona en modo automático y se selecciona este modo desde el HMI. En este estado se realiza el movimiento de los motores de las bandas por tiempo de encendido y apagado que el encargado o supervisor de la línea ingresa en el HMI, adicionalmente en la parte de validación funciona mediante los detectores que están colocados en esa parte del proceso.

En la Figura 3.30 se muestra un ejemplo del programa que controla el motor que transporta el congelador para realizar el pesaje del producto terminado.

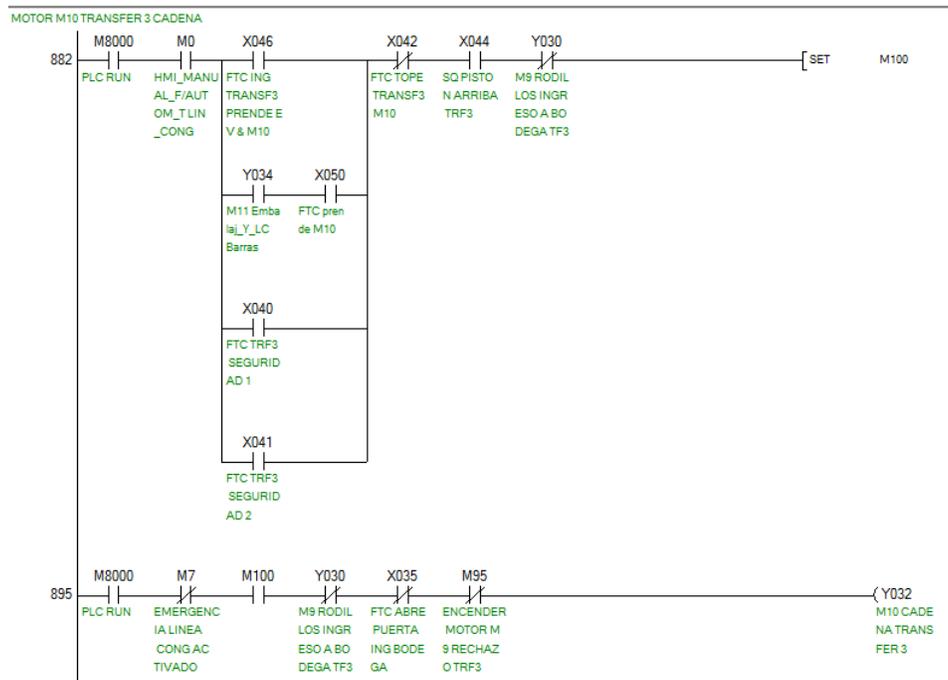


Figura 3.30 Ejemplo de funcionamiento en modo automático, producción normal, para el motor de la cadena que lleva el producto para realizar el pesaje

Fuente: Autor

Para el estado D1, de parada de emergencia, se desactiva el modo automático y se desactiva el inicio de ciclo, adicionalmente en el estado A1 se resetea las salidas y se detiene el proceso totalmente. En la Figura 3.31 se muestra el programa realizado en Ladder donde se coloca el estado en modo manual y se desactiva el inicio de ciclo. Para que el proceso vuelva a funcionar en estado normal se debe desactivar el pulsante de emergencia y volver a poner en modo automático e iniciar el ciclo desde el HMI.

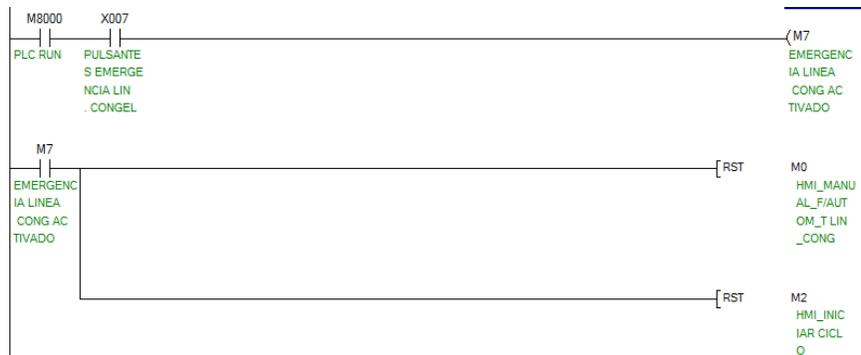


Figura 3.31 Programa en caso de pulsar el botón de emergencia se pone el proceso en modo manual y se resetea el inicio de ciclo

Fuente: Autor

Para el estado D2, si se acciona el pulsante de emergencia o los guarda-motores se visualiza la alarma en el HMI, el programa en Ladder realizado para este estado se muestra en la Figura 3.32.



Figura 3.32 Visualizar Alarma en el HMI

Fuente: Autor

El estado A4, parada obtenida, permite detener el movimiento de las bandas transportadoras pero no detiene la parte de validación del producto terminado.

CAPÍTULO 4

IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL AUTOMÁTICO

4.1 Arquitectura de implementación y comunicación

Para implementar el sistema de monitoreo y control, se usó un PLC de la marca Mitsubishi modelo FX3U, para controlar todo el proceso; una HMI Kinco para visualizar y cargar datos, un lector de código de barras para obtener el código y número de serie del congelador, una balanza para verificar que el peso del producto está dentro del rango especificado; todos estos datos son enviados a una PC donde se desarrolló una aplicación en el software LabVIEW, que permite tomar estos datos y coordinar con el PLC, para decidir si dicho producto debe pasar a bodega y posteriormente subir esta información a una base de datos que servirán para toda la parte de logística interna y externa, despacho de producto, terminación de materiales, entre otros.

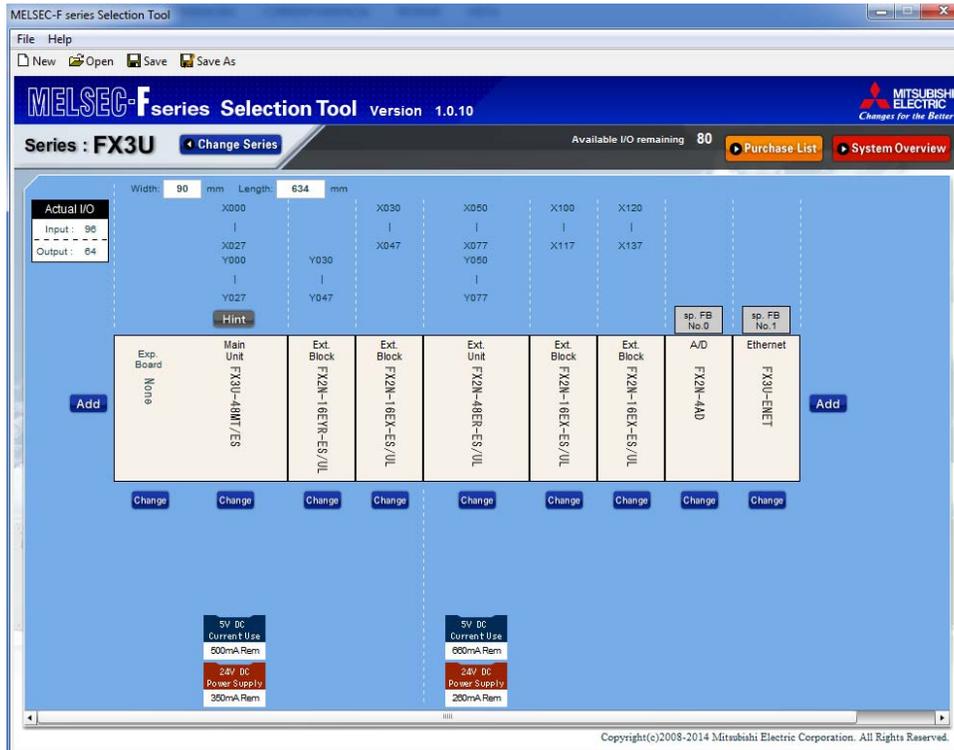
Para realizar la selección del hardware requerido es necesario antes un análisis del proceso que se desea automatizar, tomando en cuenta la posibilidad de ampliaciones dentro del mismo. En este caso, el análisis contempla un aproximado de entradas y salidas digitales, entradas analógicas, comunicaciones, tomando en cuenta como entradas los detectores, sensores, pulsantes que se van a utilizar y como salidas que es lo que se desea comandar, como motores, electroválvulas, indicadores, entre otros. Recordando que el proceso es escalable.

El PLC que se usó para controlar la línea de ensamble de congeladores e ingreso de producto terminado es el modelo FX3U-48MT/ES. Adicionalmente se colocó módulos de expansión tanto para entradas como para salidas, un módulo de entradas analógicas de 0-10V para la lectura de la señal de la balanza y un módulo de comunicaciones Ethernet para comunicarse con la HMI y con la PC.

Mitsubishi provee de un software que permite la selección del hardware y revisar la compatibilidad entre los elementos seleccionados y si es necesario utilizar una fuente externa o la fuente interna es suficiente como para alimentar todos los módulos. Este software se llama “*MELSEC-F series Selection Tool version 1.0.10*”.

En la Figura 4.1 se muestra el uso de este software para seleccionar los elementos para el desarrollo de la presente tesis. En la Figura 4.2 se muestra como está distribuido

físicamente el PLC y sus módulos, según la configuración que se realizó previamente en el software.



Exp. Board None	Main Unit FX3U-48MT/ES	Ext. Block FX2N-16EXR-ES/UL	Ext. Block FX2N-16EX-ES/UL	Ext. Unit FX2N-48ER-ES/UL	Ext. Block FX2N-16EX-ES/UL	Ext. Block FX2N-16EX-ES/UL	A/D FX2N-4AD	Ethernet FX3U-ENET
--------------------	---------------------------	--------------------------------	-------------------------------	------------------------------	-------------------------------	-------------------------------	-----------------	-----------------------

Figura 4.1 Configuración de hardware, PLC, Módulos de expansión y módulos especiales

Fuente: Autor



Figura 4.2 Distribución física del PLC, módulos de expansión y módulos especiales

Fuente: Autor

El intercambio de información es mediante Ethernet, configurando tanto el PLC, la HMI, lector de códigos de barras y la PC para realizar esta tarea. En la Figura 4.3 se ilustra un esquema para la comunicación entre los dispositivos que van a estar en el proceso, como el PLC, HMI, Lector de código de barras y la PC.

En la Figura 4.4 se ilustra un esquema que indica el conexionado de los detectores y sensores de proximidad y de la balanza hacia el PLC, también se observa, las salidas del PLC que permiten controlar los actuadores, que en este caso son los motores y pistones. La comunicación, como se había mencionado, es mediante Ethernet, para esto se incorporó el módulo FX3U-ENET, el cual es un módulo de Ethernet que maneja TCP/IP y UDP.

En la Figura 4.5 se ilustra el esquema para conectar señales de entrada analógicas usando el módulo FX2N-4AD, este módulo se usó para adquirir la señal analógica proveniente de la balanza para la lectura del peso.

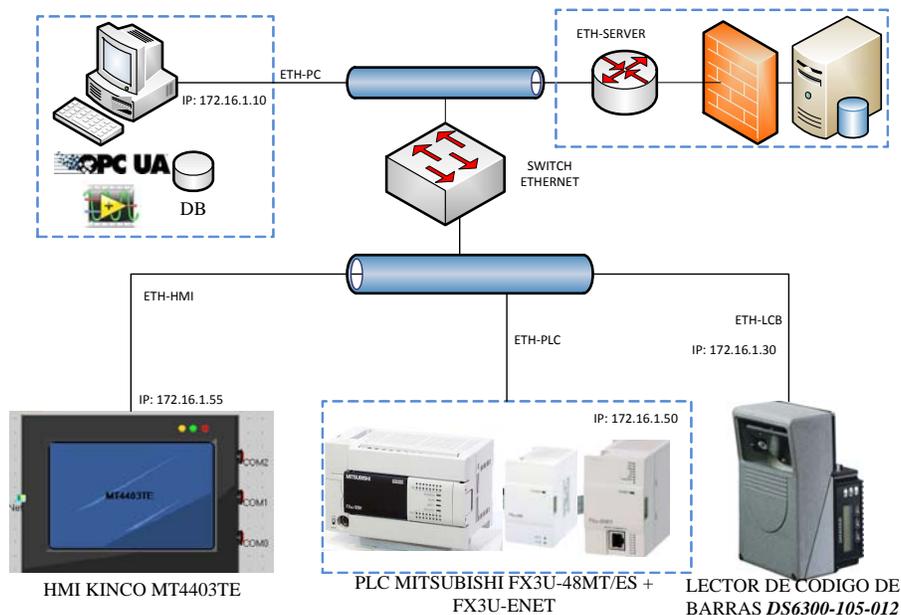


Figura 4.3 Esquema de conexión para la comunicación Ethernet entre los dispositivos usados en la tesis

Fuente: Autor

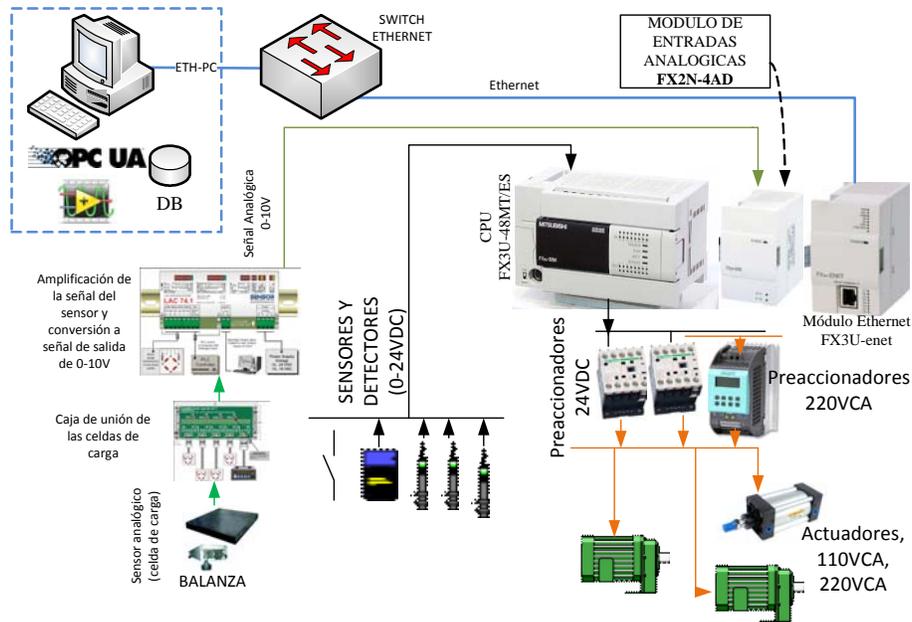


Figura 4.4 Arquitectura usada en el PLC para la lectura del estado de los sensores, balanza, y para comandar las salidas hacia los actuadores, también se ilustra la comunicación entre el PLC y la PC
Fuente: Autor

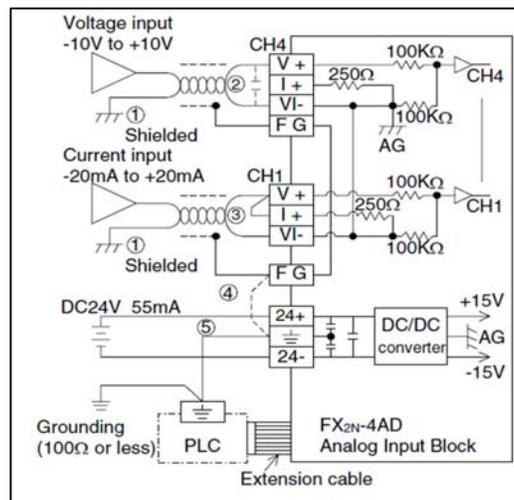


Figura 4.5 Esquema de conexión y cableado para el módulo de entradas analógicas Fx2N-4AD
Fuente: (Mitsubishi Electric, 2002)

Para esta aplicación se usaron cuatro celdas de carga dispuestas sobre una plataforma, una encada esquina. Para unir las cuatro celdas de carga se usó una caja de unión de la marca SOEMER que puentea las celdas de carga, como se muestra en la Figura 4.6.

Una vez unidas las celdas de carga es necesario amplificar la señal, para lo cual se usó el amplificador LAC 74.1 que convierte las señales de las celdas de carga a una salida analógica de 0 a 10V o 0-20mA 4-20mA, como se muestra en la Figura 4.7.

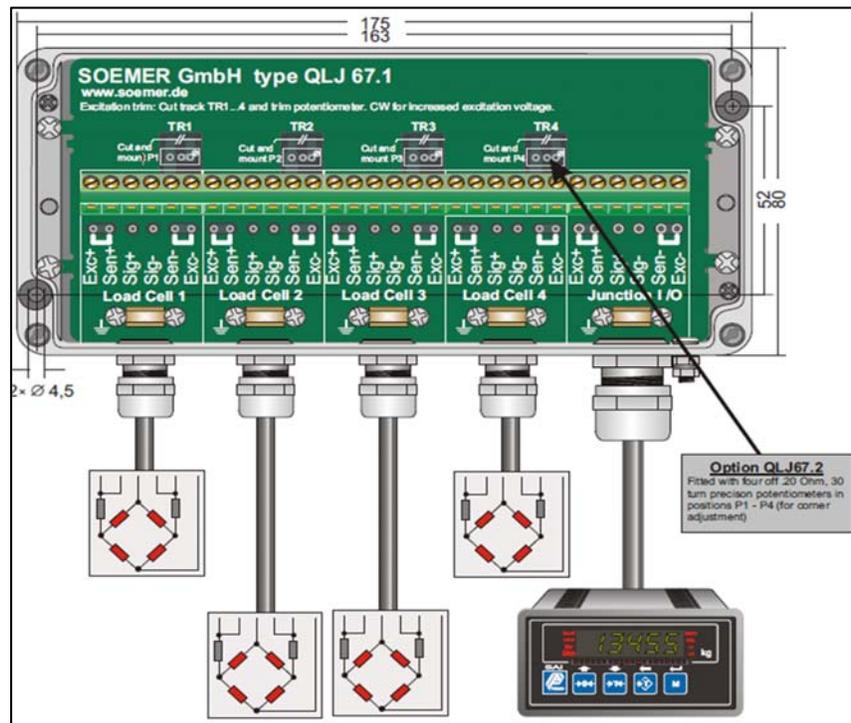


Figura 4.6 Caja de Unión para las celdas de carga. SOEMER, modelo QLJ 67.1

Fuente: (Sensor Techniques Ltd)

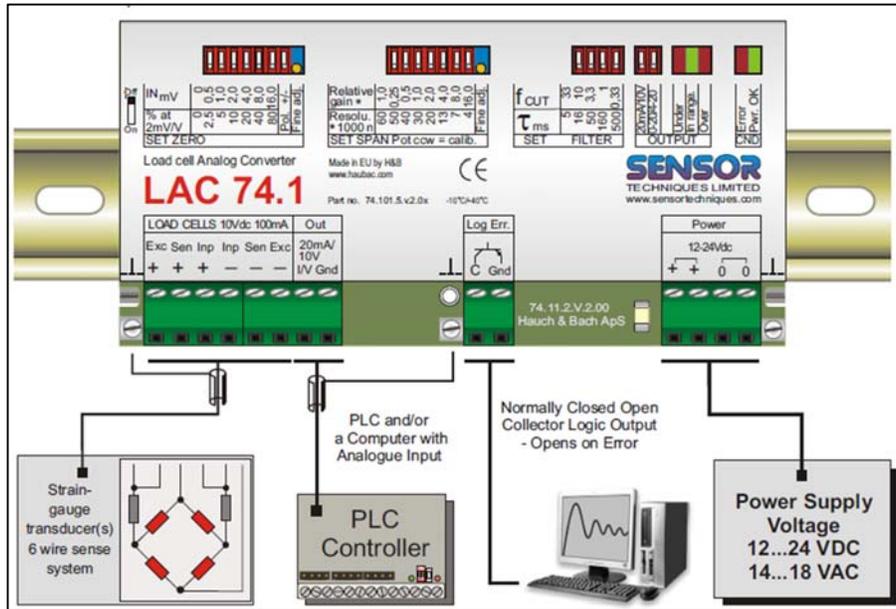


Figura 4.7 Amplificador para la celda de carga con salida analógica. Modelo LAC 74.1

Fuente: (Sensor Techniques Ltd)

En la línea de ensamble de congeladores es necesario leer el código de barras de las etiquetas de los productos terminados, la cual proporciona la información del código del producto y el número de serie, para luego enviar esta información a la PC donde el programa que se desarrolló en LabVIEW permite consultar el código del producto en la base de datos para analizar posteriormente el peso y si esta información es correcta permitirá el ingreso del producto a bodega, caso contrario será rechazado.

En la Figura 4.8 se muestra el esquema de comunicación para el lector de código de barras Datalogic, modelo DS6300-105-012, el cual tiene incorporado un puerto de comunicación Ethernet (TCP/IP), adicionalmente necesita una caja de conexión CBX100, que permite energizar el lector, conectar las entradas para activar la lectura, y también permite conectar salidas para indicar lectura correcta o incorrecta, todo esto es configurable, (los manuales se pueden conseguir en (Datalogic, 2014), (Datalogic Automation, 2012)).

La información que se tiene que leer esta codificada en barras usando CODE 128 y EAN13 como se ilustra en la Figura 4.9. CODE 128 contiene el número de serie y en EAN 13 está el código del producto. Para realizar esta identificación de los códigos es necesario realizar las respectivas configuraciones en el software del lector de barras.

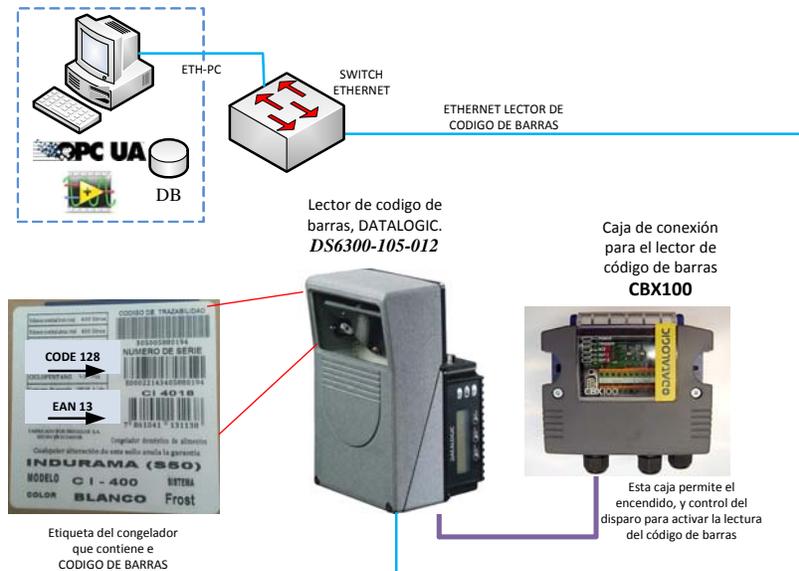


Figura 4.8 Esquema de comunicación y conexión para el lector de código de barras Datalogic, DS6300-105-012

Fuente: Autor



Figura 4.9 Etiqueta que contiene el código de barras con la información del código del producto y número de serie

Fuente: Autor

En la Figura 4.10 se muestra un esquema con la distribución de los sensores, detectores y actuadores para la parte de la validación del producto terminado. FTC se refiere a las fotocélulas que van a indicar la presencia de producto, FC a los finales de carrera que van a indicar el estado de la puerta, abierta o cerrada, SQ a los detectores magnéticos que va a detectar la posición del pistón. Las numeraciones con X, indican que entrada del PLC está conectado cada sensor, que como se había mencionado las entradas del PLC Mitsubishi se denomina con "X" y se numeran en forma octal. Las numeraciones con Y indican la salida del PLC que controla al actuador, por ejemplo Y32 indica que controla al motor M10 de la cadena del transfer tres. E.V hace referencia a la electroválvula que acciona el pistón neumático que permite levantar la cadena del transfer 3.

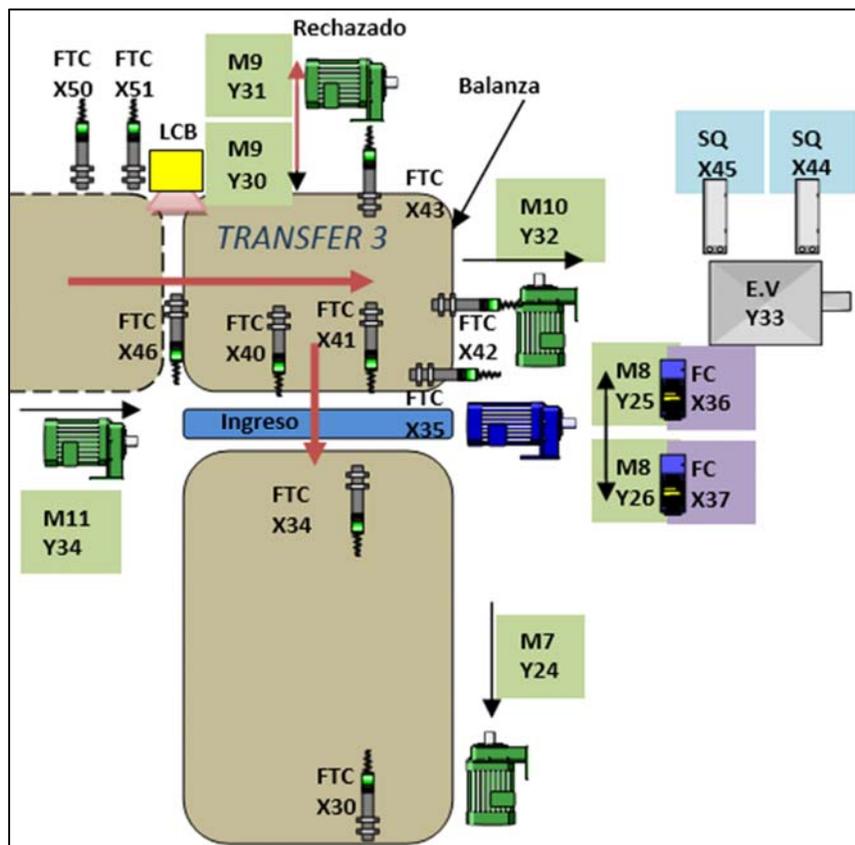


Figura 4.10 Esquema de distribución de sensores y motores en el puesto de validación del producto
Fuente: Autor

En la Figura 4.11 se presenta al puesto donde se realiza la validación del producto terminado. Se puede observar el lector de código de barras, el puesto de rechazo, el transfer 3 en donde debajo está colocado la balanza y la puerta de ingreso a bodega.



Figura 4.11 Puesto para la validación del producto terminado, transfer 3

Fuente: Cortesía de INDUGLOB S.A

En la Figura 4.12 se muestra la línea de ensamble de congeladores, con las bandas motorizadas. Es una vista desde la banda donde se realiza el proceso de embalaje.



Figura 4.12 Línea de ensamble de congeladores

Fuente: Cortesía de INDUGLOB S.A

En la Figura 4.13 se muestra el tablero de mando y control eléctrico/electrónico para comandar la línea de ensamble de congeladores e ingreso del producto terminado a bodega. En dicho tablero, se pueden observar los componentes principales usados para controlar el proceso, como el PLC, contactores, relés, variadores de frecuencia, entre otros. A este tablero llegan todas las señales de los sensores y detectores, y salen las señales para controlar los actuadores, como los motores y el pistón.



Figura 4.13 Tablero eléctrico que controla todo el proceso de ensamble e ingreso de producto terminado a bodega

Fuente: Cortesía de INDUGLOB S.A

La información mencionada en los párrafos anteriores es referente a toda la configuración en hardware necesaria para el funcionamiento del proceso. A continuación se describe los aspectos referentes a la parte del software, configuración y programación.

4.2 Configuraciones y programación del PLC

En este apartado se describirá las configuraciones necesarias para la programación y comunicación entre el PLC con el proceso y también con la HMI y la PC.

4.2.1 Configuración del Módulo de Ethernet

Para la configuración del módulo Ethernet FX3u-ENET se usó el software “FX Configurator-EN”, versión 1.30. La configuración de este módulo es importante debido a que por el mismo se comunica con la PC y con el HMI.

En la Figura 4.14 se puede observar la presentación principal de este software, donde debe configurar cada una de los parámetros necesarios para el funcionamiento correcto de la red Ethernet, cabe destacar los siguientes parámetros:

Module None: es donde se selecciona el módulo especial en donde está ubicado el módulo Ethernet, en este caso debe seleccionarse el módulo 1, ya que el módulo 0 es el de las entradas analógicas. Esto se puede apreciar en la Figura 4.1.

Operational settings: Se configura los ítems comunes del puerto Ethernet, aquí se configura la dirección IP.

Open settings: Se configura que tipo de conexión y protocolo se va a usar para comunicarse con los otros dispositivos.

En la Figura 4.15 se muestra como quedo configurado este módulo. Posterior a la configuración hay que descargarla en el módulo ya sea a través del PLC, usando el puerto RS422 que viene incorporado, o si se sabe que IP tiene actualmente el Módulo, se puede configurar para realizar la descarga mediante Ethernet.

Una vez que se descargue la configuración se debe apagar y encender el PLC, para que haga efecto la configuración, después de esto la programación, monitoreo y comunicaciones se puede hacer mediante Ethernet.

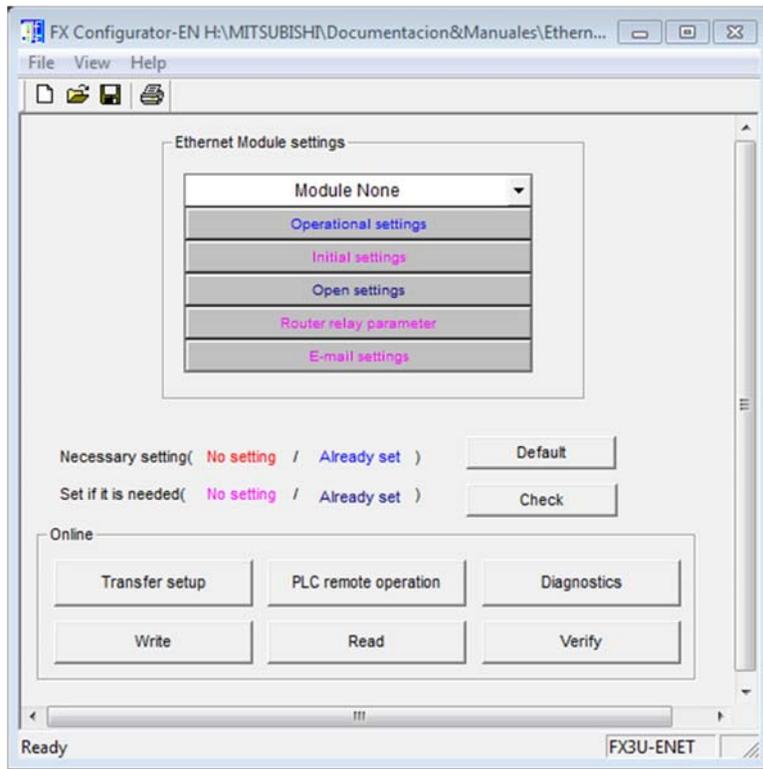


Figura 4.14 Software FX Configurator-EN, presentación principal

Fuente: Autor

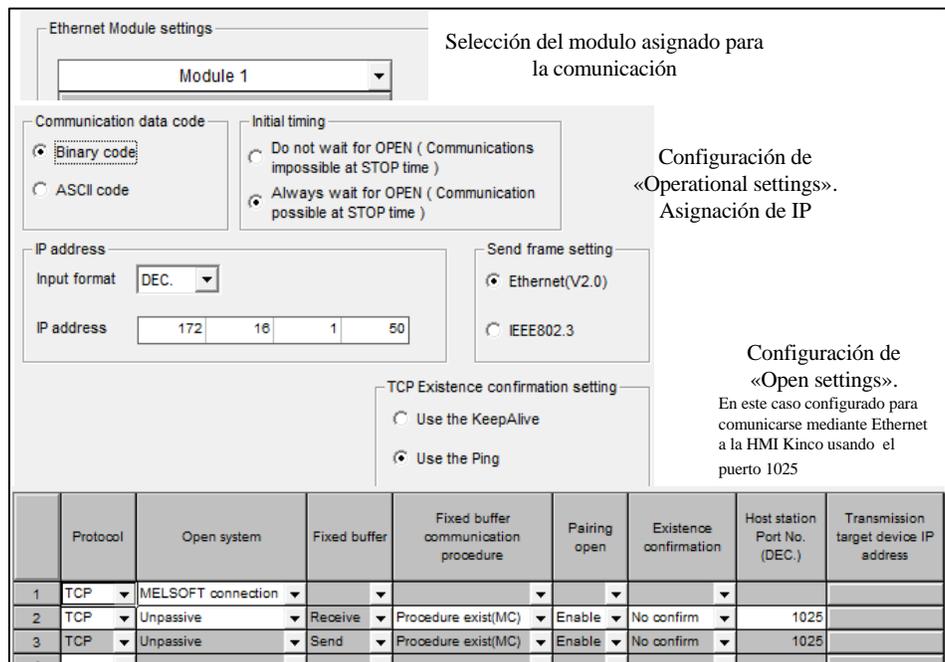


Figura 4.15. Configuración realizada para el modulo Ethernet en el software FX Configurator-EN

Fuente: Autor

4.2.2 Programación del PLC

Este ítem hace referencia a la programación, usando el respectivo software, para el control de la línea de ensamble de congeladores y la información provista del modelado en BMM y de la guía GEMMA. Para la programación del PLC se usó el software “GX Works 2”.

La Figura 4.16, es un diagrama de casos de usos en donde se muestra los procesos que se siguieron para programar el PLC, usando UML. La programación se realizó en Ladder, debido a que se cuenta con un software que permite realizar esa programación únicamente para este tipo de PLC.

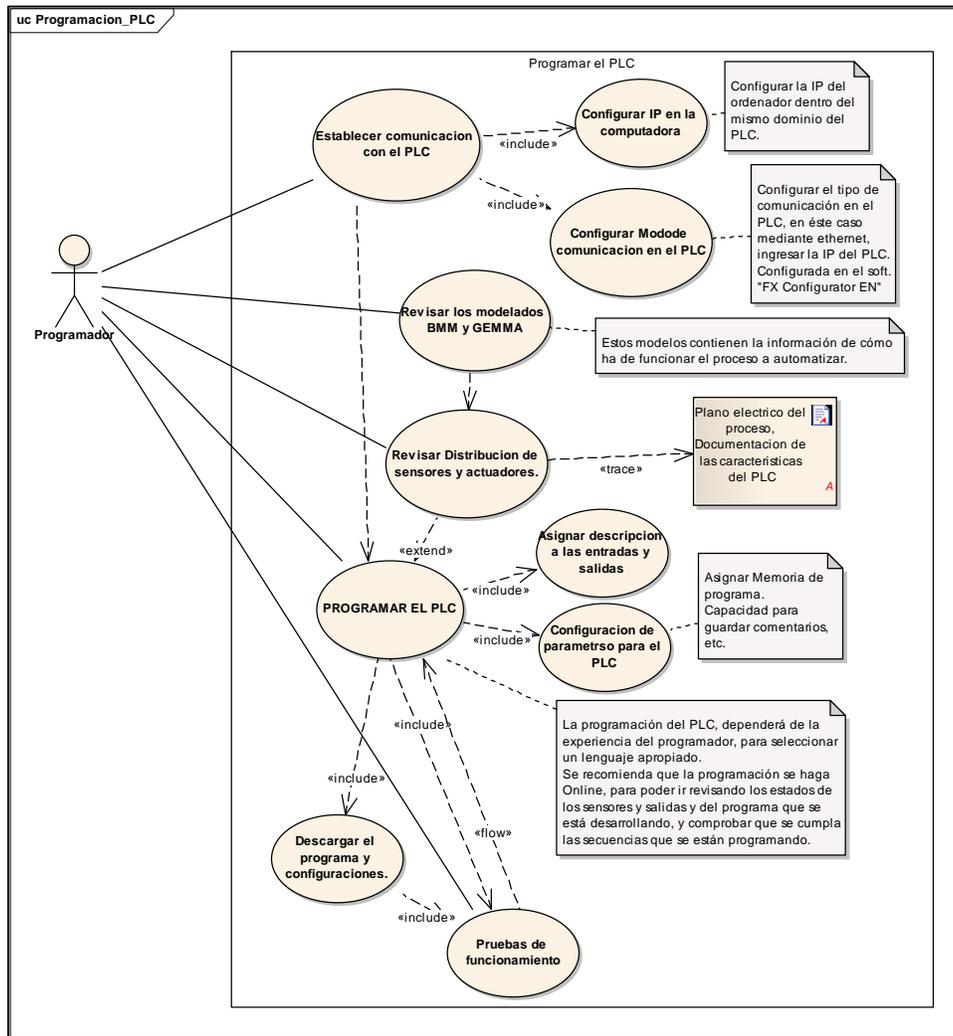


Figura 4.16 Diagrama de casos de usos para programar el PLC

Fuente: Autor

En las Figura 4.17 se muestra un ejemplo de la programación el Ladder realizada para la lectura del pulsante de emergencia “X7” y la lógica para el funcionamiento de la banda donde se realiza el proceso de “colocado del compresor”.

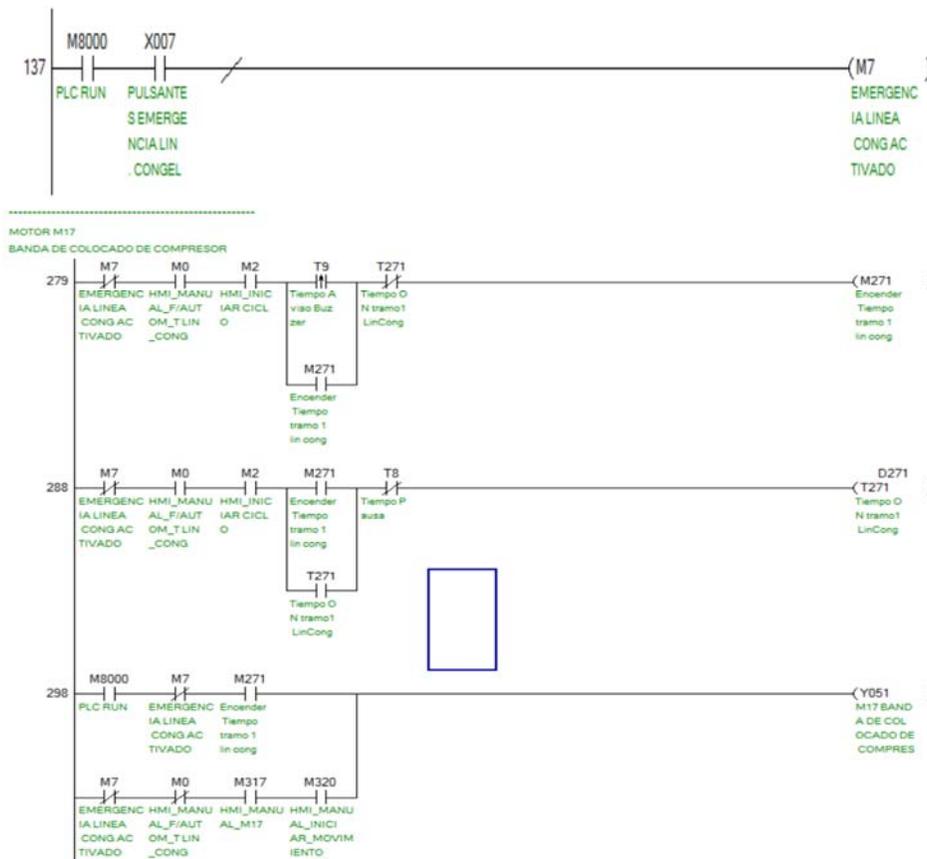


Figura 4.17 Ejemplo de programación en Ladder para la lectura del pulsante de emergencia y para el mando de la banda de Colocado de compresor

Fuente: Autor

4.3 Configuración y Programación del panel operador, HMI

El primer paso para la programación de la interfaz humano-máquina es la configuración del HMI a usarse y del PLC con el que se va a comunicar. El software que se usa para programar y configurar el HMI Kinco es el “Kinco HMI Configuration Edit Software”, versión 2.2.0.0 (Build 140314). En la Figura 4.18 se muestra la configuración realizada, en este caso como se puede observar, el número de puerto 1025, es el que debe ir en la configuración Ethernet del PLC, como se mostró en la Figura 4.15, la comunicación usa el protocolo “Mitsubishi FX series Ethernet (TCP)”.

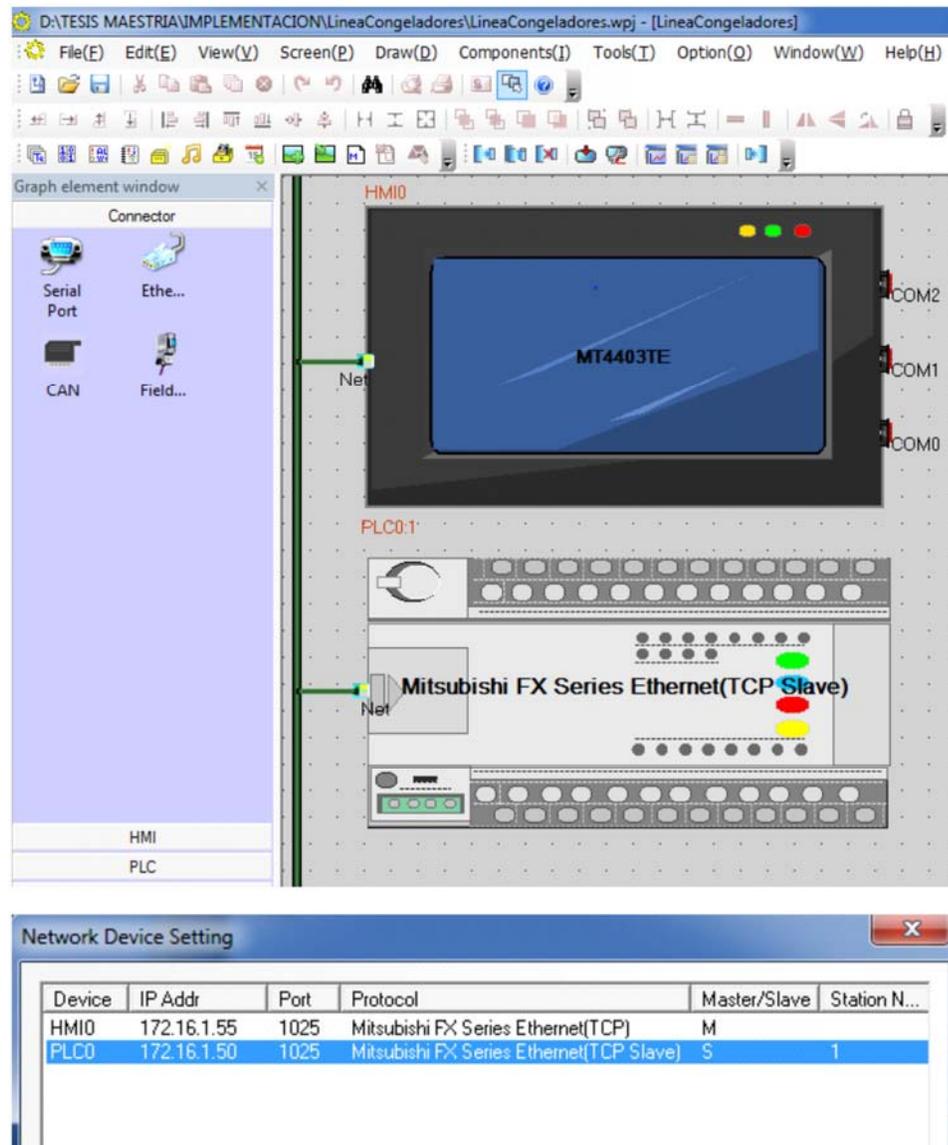


Figura 4.18 Configuración para la comunicación entre HMI y PLC
Fuente: Autor

En la Figura 4.19 se muestra el proceso aplicado para realizar la programación del HMI, realizado en UML mediante los casos de uso, cabe resaltar que en la programación de la HMI se debe contar con la experiencia para realizar, sobre todo los pasos de comunicación, que suelen ser los más complicados, en algunos casos.

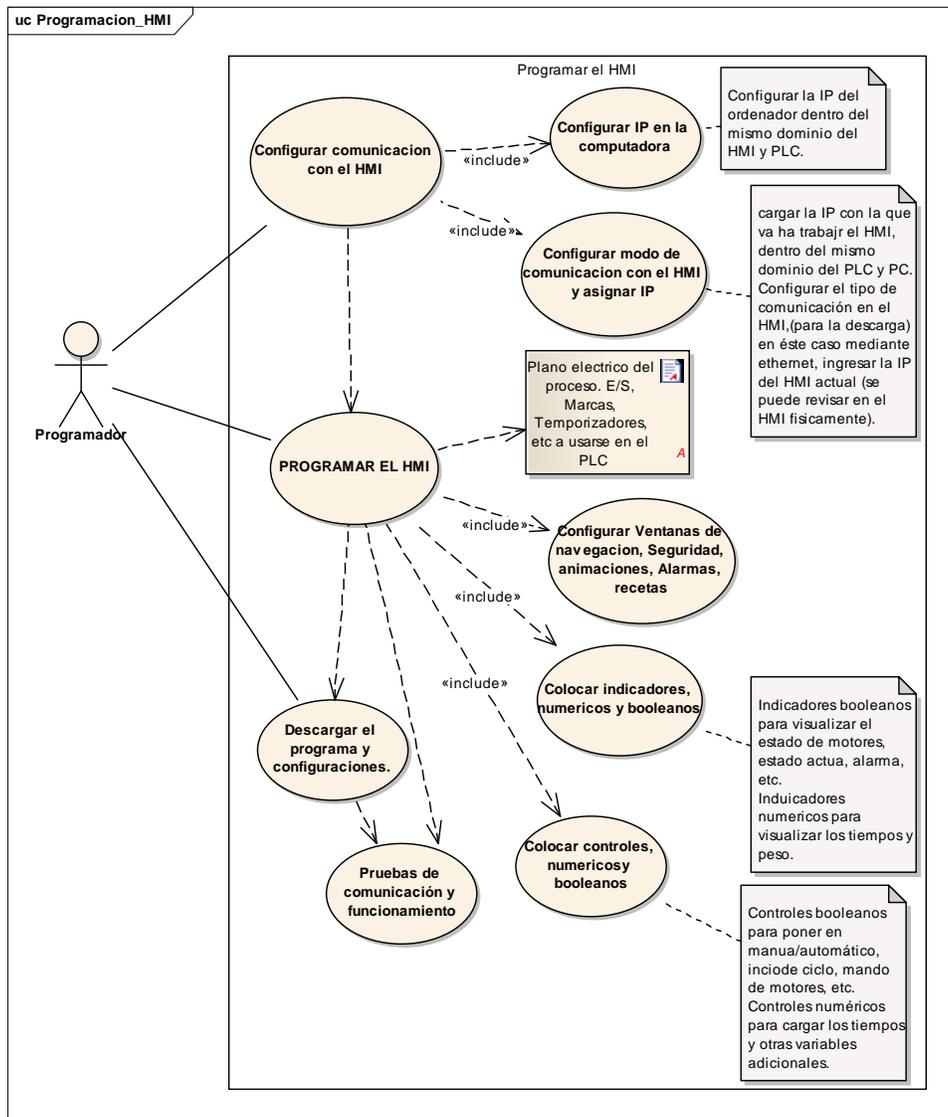


Figura 4.19 Diagrama de casos de usos para programar el HMI

Fuente: Autor

Es importante también destacar las pruebas de funcionamiento tanto de comunicación como de operación, para resolver los problemas en caso de que los haya.

En la Figura 4.20 se muestra un ejemplo de la HMI programada, en este caso de la menú Automático, donde se pueden observar los botones para seleccionar Manual-automático, Iniciar ciclo, y configuraciones de los tiempos de avance de cada tramo.



Figura 4.20 Ejemplo de la HMI programada, en este caso del menú Automático
Fuente: Autor

4.4 Configuración del lector de código de barras

Para la configuración del lector de código de barras es necesario usar el software “DATALOGIC, Genius™”, versión 1.12.1 (19/10/2012). El esquema que indica los pasos a seguir para realizar la configuración del lector se muestra en la Figura 4.21, realizado en UML. En la Figura 4.22 se muestra las principales configuraciones realizadas.

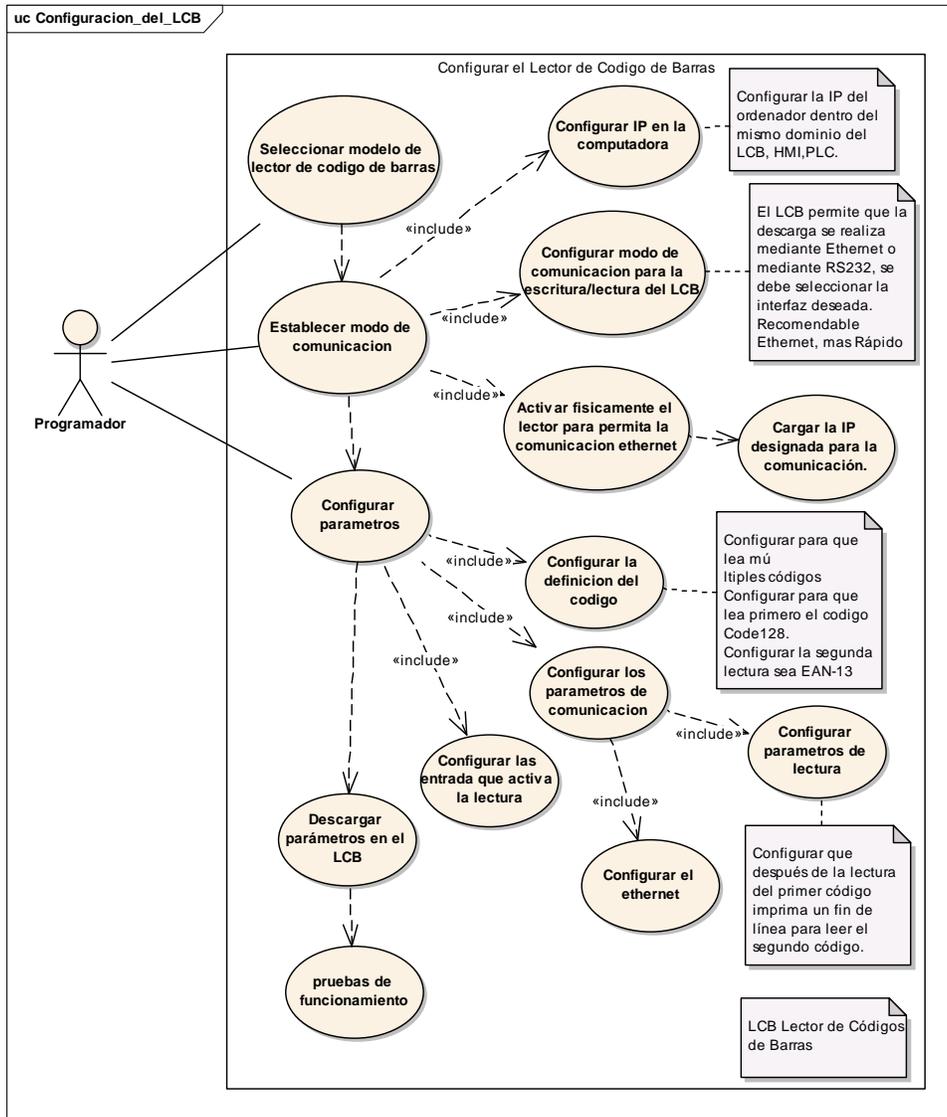


Figura 4.21 Diagrama de casos de usos para configurar el lector de código de barras (LCB)

Fuente: Autor

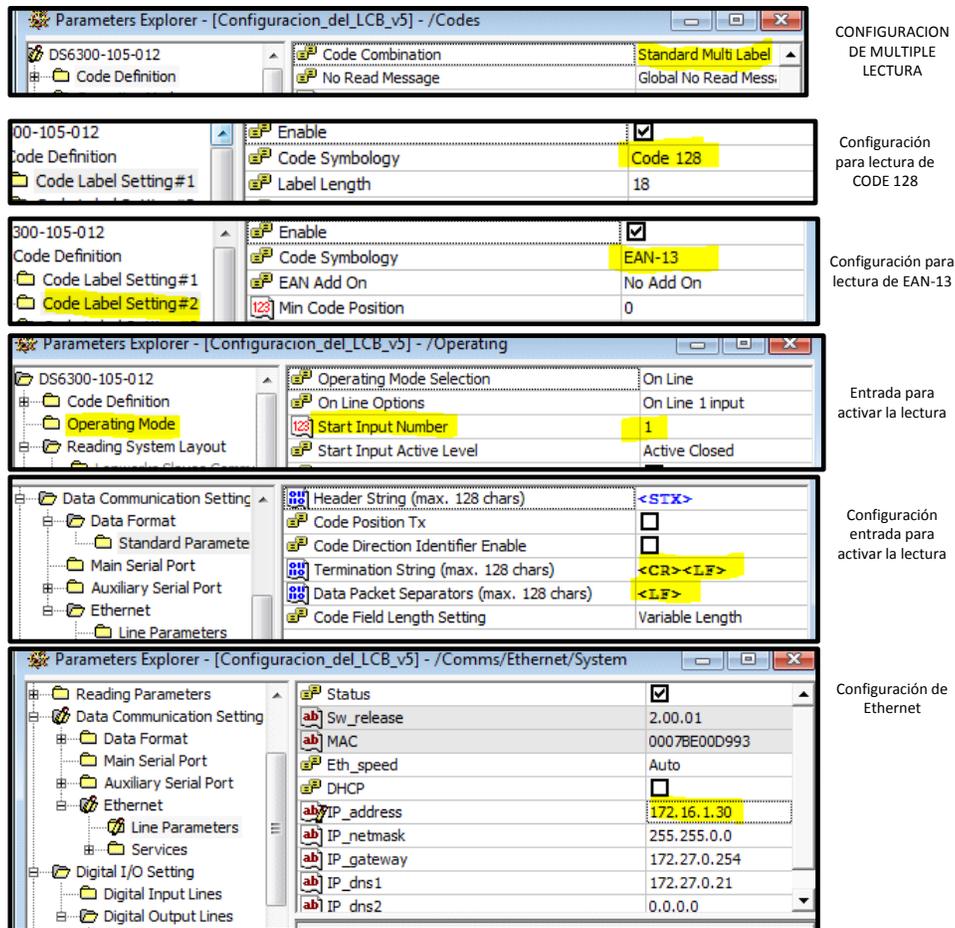


Figura 4.22 Configuraciones realizadas en el lector de código de barras

Fuente: Autor

4.5 Configuración del Servidor OPC

En este ítem se indica los pasos que se siguieron para configurar el servidor OPC. Para configurar el OPC se usó el software “MX Configurator” que usa el MX OPC Server 6.01. En la Figura 4.23 se muestra los procesos necesarios para realizar la configuración del OPC server. También se muestran partes de las configuraciones realizadas en las siguientes ilustraciones: Figura 4.24, Figura 4.25 y Figura 4.26.

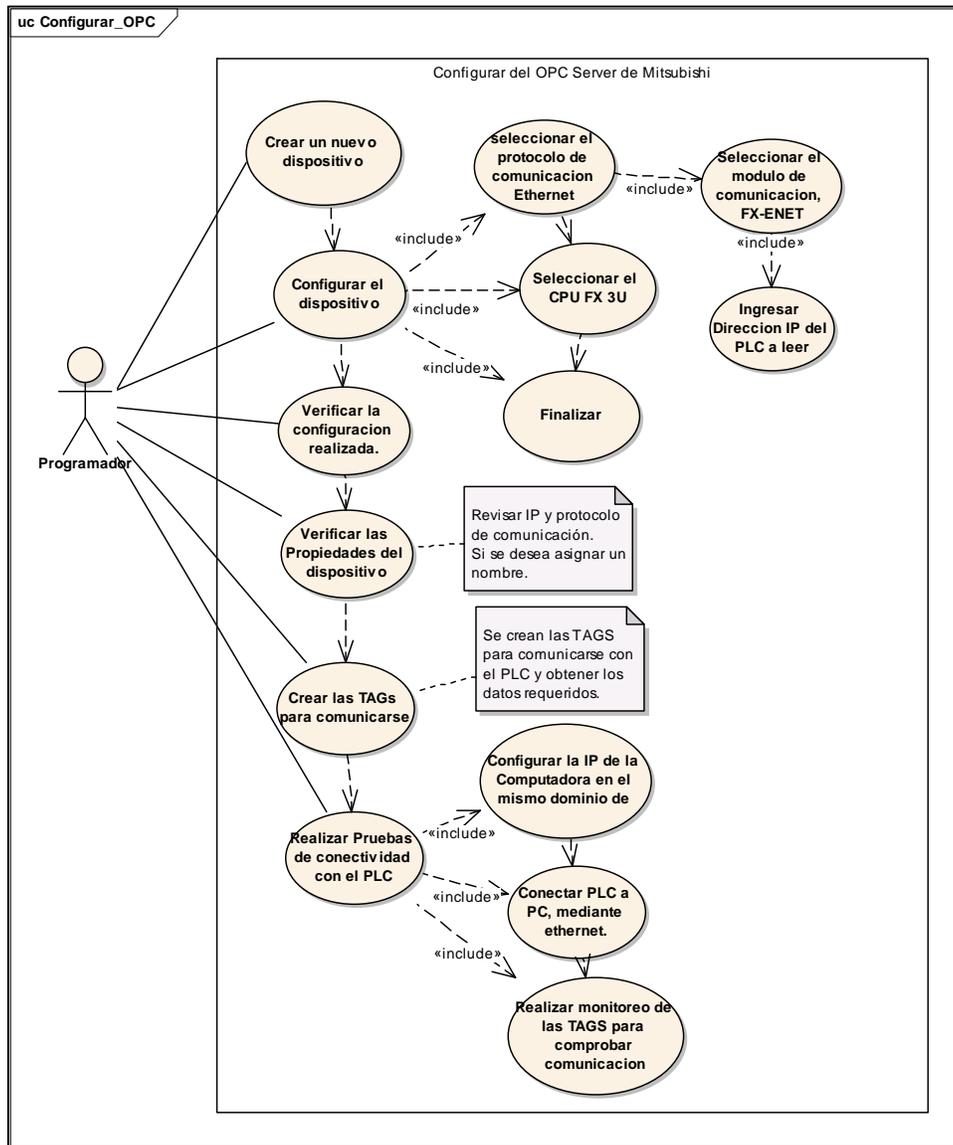


Figura 4.23 Diagrama de casos de usos para configurar el servidor OPC

Fuente: Autor

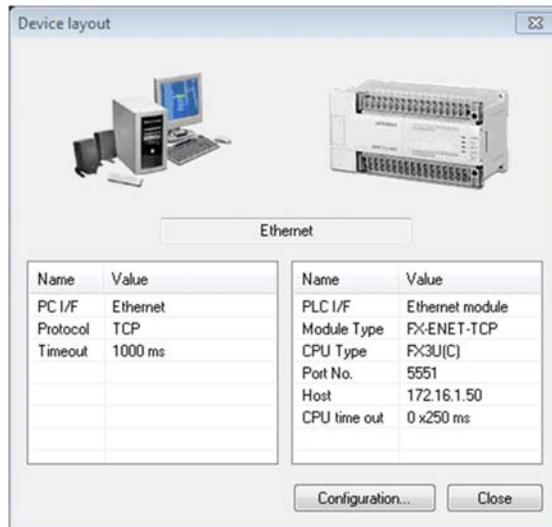


Figura 4.24 Configuración realizada al dispositivo, se verifica número de puerto, e IP configurada
Fuente: Autor

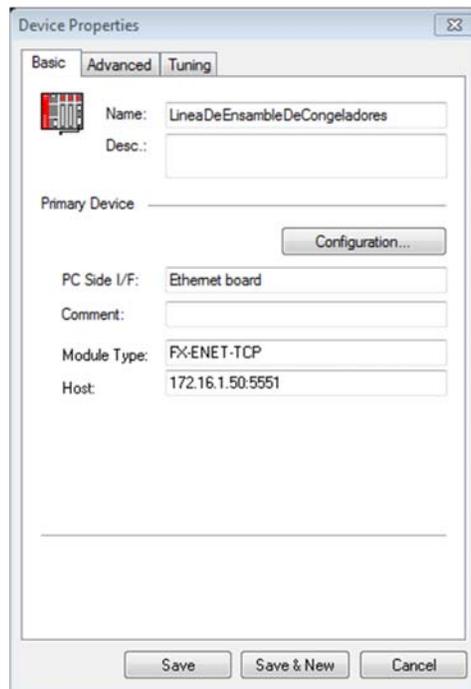


Figura 4.25 Propiedades del Dispositivo configurado
Fuente: Autor

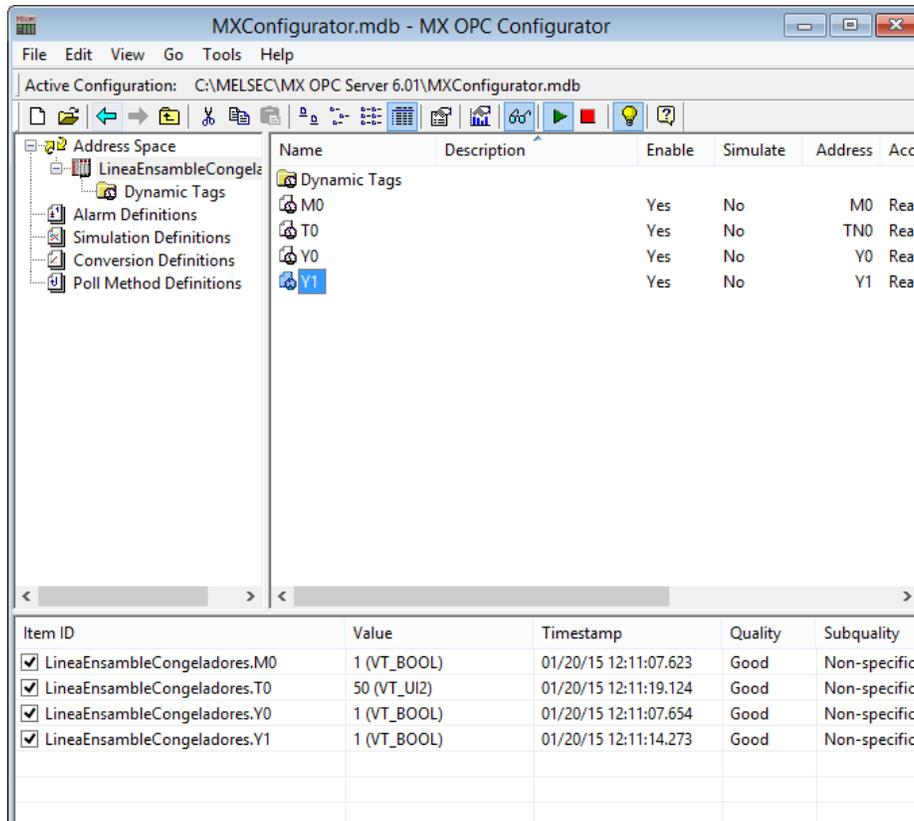


Figura 4.26 Ejemplo de las TAGs Configuradas y monitoreadas
Fuente: Autor

4.6 Programación de LabVIEW para el sistema de control basado en PC

Para la programación del sistema de validación del producto terminado en la línea de ensamble se usó el software LabVIEW, dentro del cual se estableció la comunicación con el lector de códigos de barras y con el PLC Mitsubishi, para adquirir información de ambos elementos. Al PLC también se escribe información desde el software indicando si el producto ha sido validado o se tiene que rechazar. Para la programación en LabVIEW se usó básicamente dos máquinas de estado, la primera se puede observar en la Figura 4.27, esta máquina de estado permite realizar en los primeros estados las configuraciones respectivas para garantizar el funcionamiento correcto del programa que valida el producto terminado.

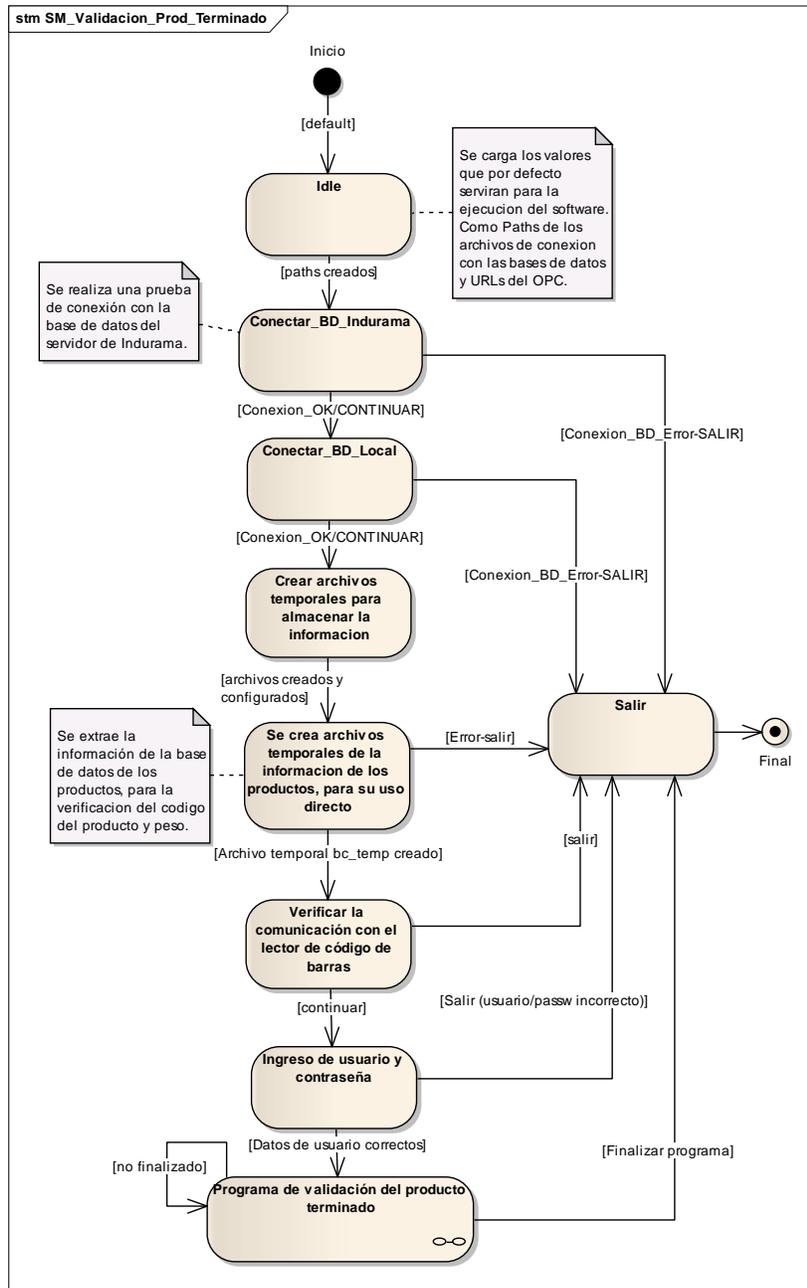


Figura 4.27 Máquina de estados para el programa de configuración de parámetros iniciales

Fuente: Autor

Esta máquina de estado se encarga de comunicarse con el lector de código de barras y con el PLC. La comunicación con el PLC es básicamente para recibir información de presencia de producto y adquirir la información del lector de código de barras, comparar si el código del congelador existe en la base de datos, obtener el peso correspondiente de la misma base de datos. Después se lee el peso del producto, a través de OPC, desde el PLC y validar si el producto cumple con la especificación del peso.

Adicionalmente el programa permite realizar otras tareas adicionales como: agregar especificaciones de productos nuevos o no registrados, es decir, ingresar en la base de datos el código del producto su peso y tolerancia, agregar, modificar o borrar usuarios y contraseñas, visualización de fallas de comunicación con el lector y con el PLC, actualizar los productos que han ingresado a bodega a la base de datos, tanto local como del servidor de Indurama. Estas tareas se activan por eventos, es decir, al presionar el botón indicado en el panel frontal del software se activa el evento correspondiente para esa actividad.

A continuación se menciona las programaciones realizadas para los estados más importantes del programa, como es la adquisición del código de barras, la comunicación con el servidor OPC y a su vez mediante este recurso con el PLC y finalmente la comunicación con la base de datos.

4.6.1 Programación para la lectura del código de barras.

Ya se había mencionado que es necesario que el lector de códigos de barras reconozca 2 códigos diferentes a la vez: Code 128 y EAN-13 y se envíe dichos datos a la PC a través de Ethernet TCP/IP y poder realizar las operaciones necesarias. En LabVIEW se desarrolló el programa para que permita realizar dicha lectura. En la Figura 4.29 se puede observar en (a) el diagrama de bloques que contiene el código para la lectura mediante TCP/IP, en el cual se puede observar que contiene tres etapas, que son: la configuración donde se abre el puerto de comunicación TCP/IP y se ingresa los datos de la dirección IP, el puerto de comunicación, y un tiempo (*timeout*) que indica el tiempo de espera para retornar un error. En la etapa dos se realizan la lectura de los datos que envía el lector de códigos de barras y en la tercera etapa se cierra el puerto de comunicaciones. En (b) se muestra el panel frontal donde se puede modificar los parámetros de entrada como la IP, puerto de comunicación y el *timeout* y como salida se tiene los datos leídos, un indicador booleano que muestra si se presentó un error durante la ejecución del programa y también se muestra un indicador numérico que muestra el código del error, en caso de presentarse.

En (c) se puede observar el icono de este VI (Virtual Instrument), en este caso este VI se usa dentro del programa principal en el estado de “Leer los códigos de barras mediante Ethernet TCP/IP” de la máquina de estados que se presentó en la Figura 4.28, desde donde se carga los datos de entrada y se obtiene los datos de salida ya mencionados en el párrafo anterior.

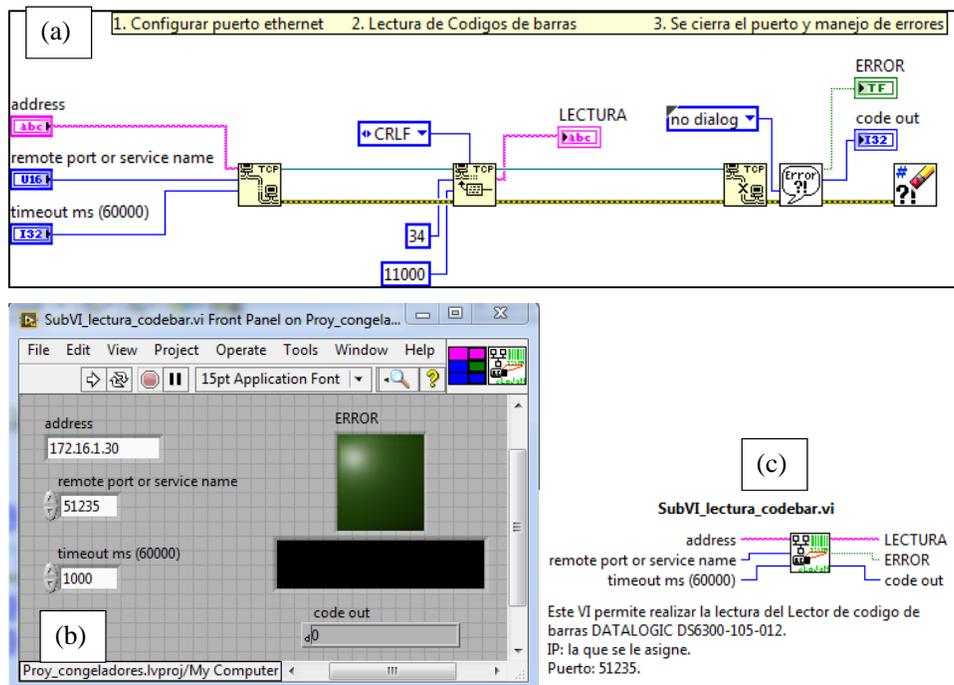


Figura 4.29 Diagrama de bloques programado en LabVIEW
 Fuente: Autor

4.6.2 Programación para comunicación con el servidor OPC y PLC

Para poder lograr la comunicación e intercambio de datos con el PLC se había dicho que es necesario usar el servidor OPC, en este caso del mismo fabricante del PLC. Para eso es necesario seguir ciertos pasos para lograr establecer el intercambio de información entre LabVIEW y el PLC mediante OPC. En la Figura 4.30 se presenta un diagrama de casos de uso que ilustra los pasos seguidos para obtener los datos del PLC en LabVIEW y enviar datos desde LabVIEW hacia el PLC.

En la Figura 4.31 se muestra un ejemplo de cómo se ingresó la dirección de la TAG “PesoLeido” en una variable compartida “shared variable” en LabVIEW, este paso ayuda a que si se cambia el nombre o la dirección de la TAG en el servidor OPC, solo se cambiaría en esta parte del código la modificación mencionada. Estas configuraciones se hacen en el primer estado de la máquina de estados de la Figura 4.27.

En la Figura 4.32 se muestra un ejemplo de la activación para el intercambio de información usando DataSocket, esta activación es importante para posteriormente cargarle la dirección URL de la TAG asignada. En la Figura 4.33 se muestra un ejemplo

de cómo se cargó la dirección que está en la variable compartida hacia el indicador usando un nodo de propiedad.

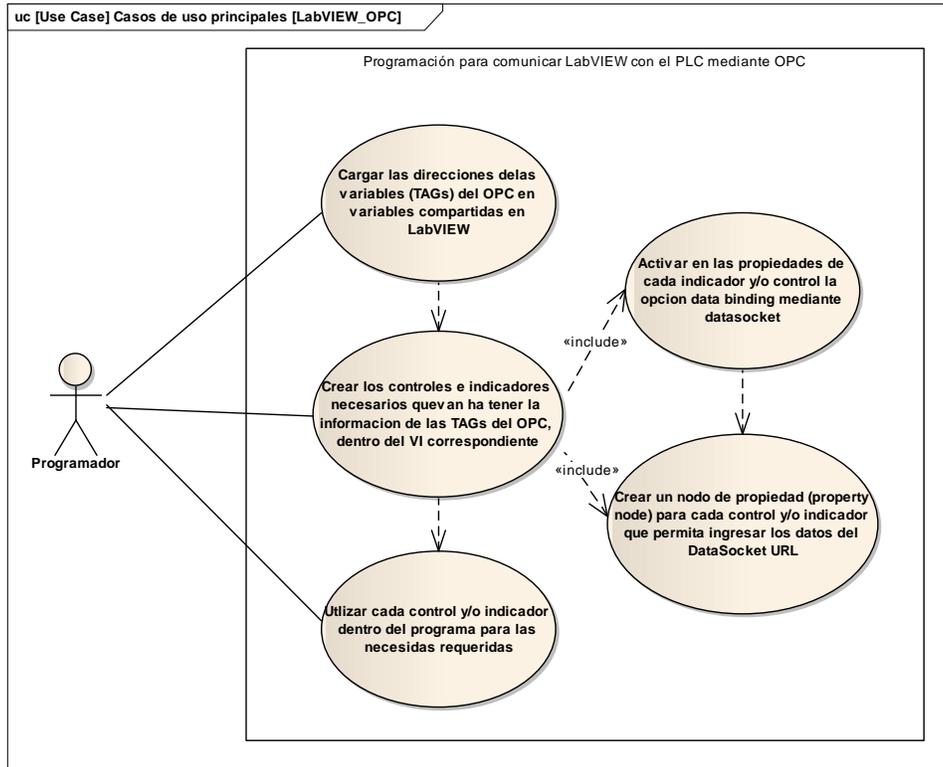


Figura 4.30 Casos de uso para la programación de la comunicación entre LabVIEW y el servidor OPC

Fuente: Autor



Figura 4.31 Dirección URL para la TAG en el servidor OPC "PesoLeido"

Fuente: Autor

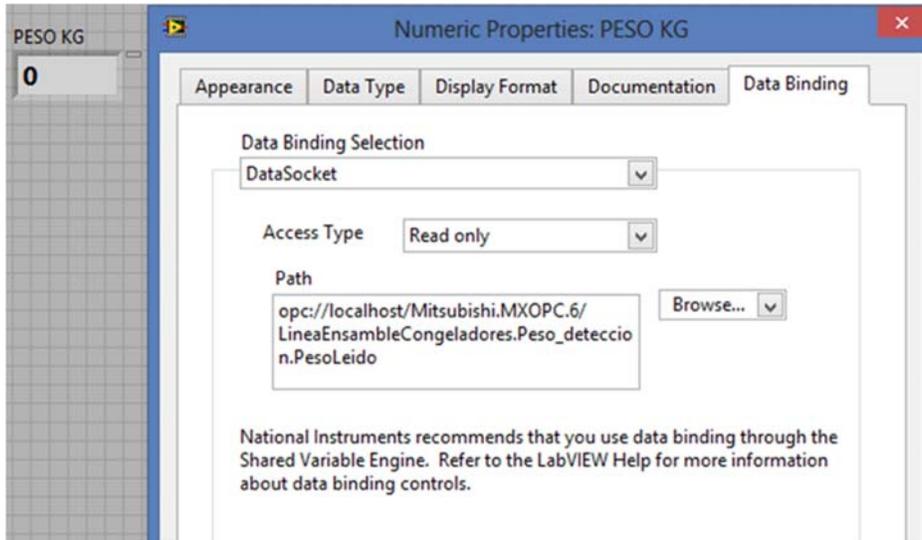


Figura 4.32 Ejemplo que muestra al indicador de peso, configurar la opción “Data Binding Selection” mediante DataSocket

Fuente: Autor



Figura 4.33 Ejemplo de cómo se cargó la dirección URL desde la “shared variable” en el indicador de peso

Fuente: Autor

4.6.3 Configuración de la base de datos local y comunicación con la base de datos del servidor de INDURAMA

Para este presente trabajo se usó la base de datos MySQL para guardar localmente los datos de los productos que han ingresado a bodega, También se va a usar la base de datos Oracle para guardar los datos en el servidor de la empresa INDUGLOB, en este caso la configuración para esta base de datos lo realiza el departamento de sistemas

La comunicación para guardar y consultar en la base de datos se realizó usando el software LabVIEW, que tiene herramientas para realizar estas tareas y usando el conector ODBC. Un conector ODBC permite la conexión local o remota con los servidores de las bases de datos. En la Figura 4.34 se ilustra un diagrama de conexión entre LabVIEW y MySQL a través de ODBC.

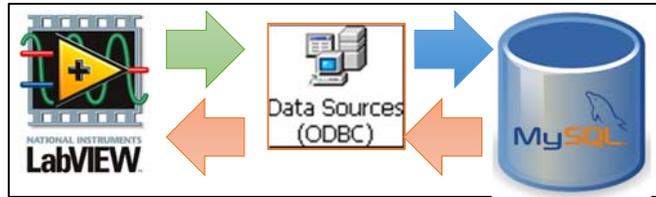


Figura 4.34 Esquema de comunicación entre LabVIEW y MySQL

Fuente: Autor

En la Figura 4.35 se presenta el diagrama de casos de uso para describir los pasos para crear el esquema y las tablas en la base de datos, adicionalmente de cómo establecer la conexión con la base de datos mediante ODBC. Estos son los primeros pasos que se siguió para establecer posteriormente la comunicación entre LabVIEW y la base de datos local para grabar, consultar y/o modificar los datos en dicha BD.

El archivo de conexión para grabar los datos en la base de datos del servidor de Indurama es configurado por el departamento de sistemas, el programa realizado en LabVIEW accede a la información a través de dicho archivo de conexión ODBC.

En la Figura 4.36 se muestra la base de datos MySQL donde se ha creado el esquema *prod_terminado* y dentro de este las tablas *bd_productos_congeladores* y *bd_productos*. En la tabla *bd_productos_congeladores* se encuentra la información de los productos que se realizan en la línea de ensamble de congeladores y en la tabla *bd_productos* se encuentra toda la información de los productos que han sido validados correctamente y que han ingresado a bodega.

En la Figura 4.37 se ilustra cómo se configuró el conector ODBC de MySQL para acceder al esquema *prod_terminado*.

Luego de haber creado las tablas de la base de datos donde se va a guardar la información se realiza la programación en LabVIEW para acceder a los datos de las tablas.

Para actualizar los datos que se tiene registrados en el programa tanto a la base de datos local como a la base de datos del servidor Indurama se realizó una máquina de estados como se ilustra en la Figura 4.38. Para actualizar los datos se presiona el botón “actualizar” desde el programa en la PC. Al realizar esta acción se activa un evento que permite ejecutar el programa (SubVI) que contiene la máquina de estado mencionada.

En la Figura 4.39 se muestra la parte de la máquina de estados que actualiza los datos en la BD local, en la tabla *bd_congeladores*.

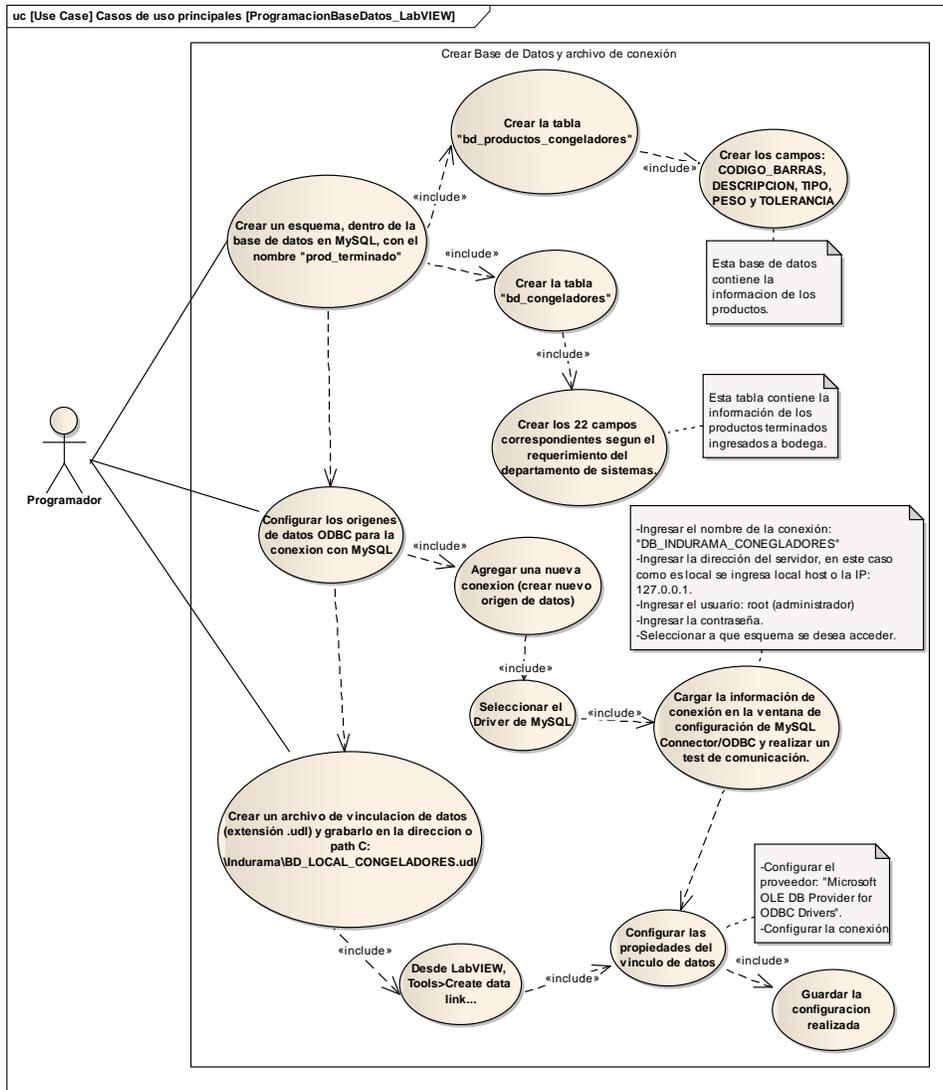


Figura 4.35 Diagrama de casos de uso para crear las tablas y establecer conexión con la base de datos de MySQL

Fuente: Autor

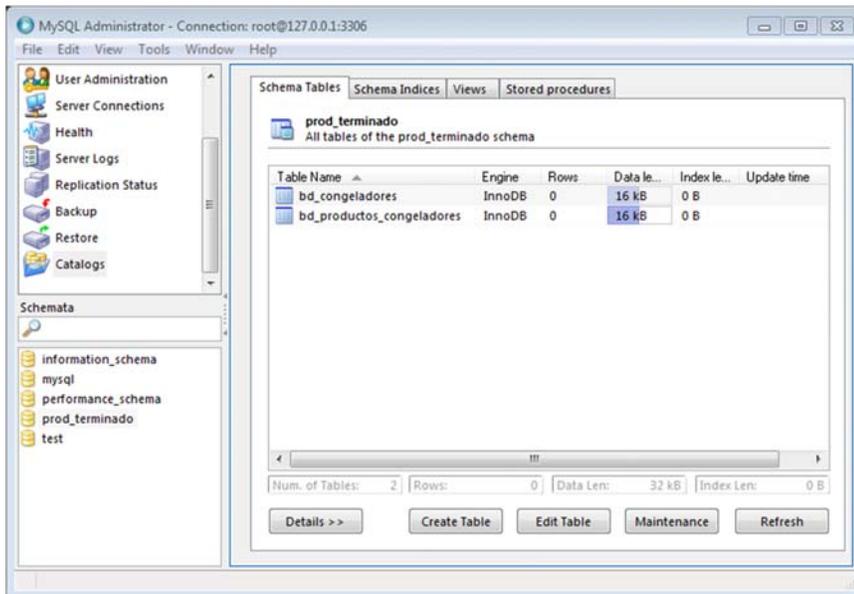


Figura 4.36 Base de datos en MySQL, esquema “prod_terminado” y tablas dentro del esquema: *bd_congeladores* y *bd_productos_congeladores*

Fuente: Autor

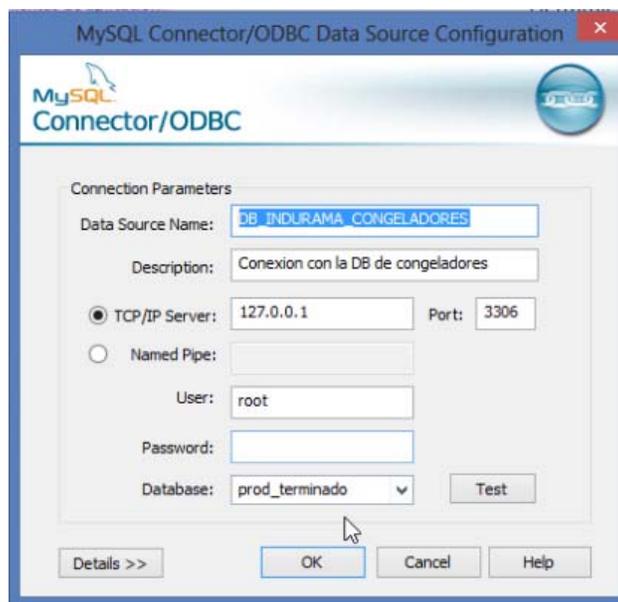


Figura 4.37 Configuración del conector ODBC de MySQL

Fuente: Autor

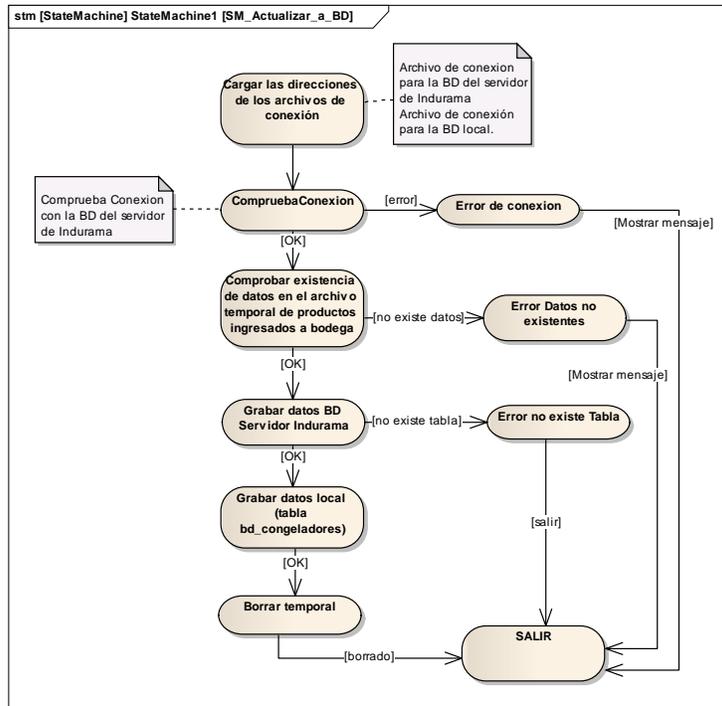


Figura 4.38 Máquina de estados para actualizar los datos de los productos ingresados a bodega a la BD del servidor de Indurama y a la BD local

Fuente: Autor

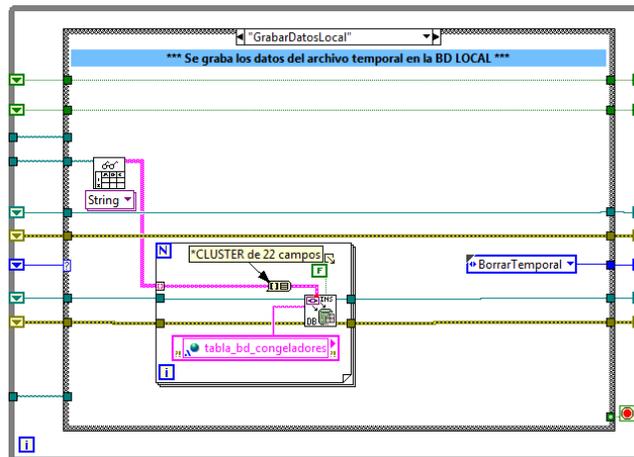


Figura 4.39 Estado "Grabar datos local" de la máquina de estados de la Figura 4.38 que permite actualizar los datos en la tabla bd_productos

Fuente: Autor

Las pruebas mencionadas en la figura anterior incluyen probar el lector de códigos de barras, de manera física, comprobando que la configuración realizada por software del lector esté bien realizada. También se realizó las pruebas de funcionamiento del PLC comprobando que la programación del autómatas realice todas las funciones de control, tanto de marcha como de parada.

Para las pruebas del HMI-PLC, igualmente se comprueba que las configuraciones y elementos del HMI funcionen correctamente entre el PLC y el HMI.

A continuación se muestran las pruebas de funcionamiento realizadas.

5.1 Pruebas de Funcionamiento del Lector de Código de Barras

En la Figura 5.2 muestra la etiqueta del congelador que se va a leer con el lector de códigos de barras. En la Figura 5.3 se muestra al lector leyendo dicho código.



Figura 5.2 Etiqueta para realizar la prueba de funcionamiento del lector de códigos de barras

Fuente: Autor



Figura 5.3 Lector leyendo el código de barras

Fuente: Autor

En la Figura 5.4 se muestra el número de serie de la etiqueta leída por el lector de códigos de barras, demostrando que el lector ha sido configurado correctamente y está trabajando bien.

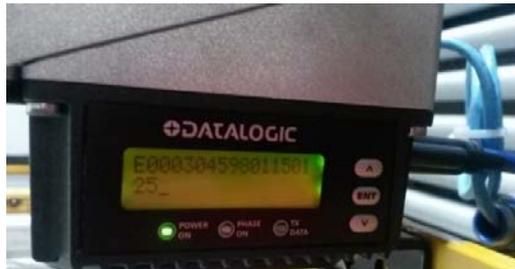


Figura 5.4 Código leído por el lector
Fuente: Autor

5.2 Pruebas de funcionamiento HMI-PLC

Las pruebas de funcionamiento del PLC y del PLC-HMI que se muestran en esta sección permiten comprobar el correcto funcionamiento entre el HMI, PLC y el proceso. En la Figura 5.5 se muestra el monitoreo realizado desde el software de programación del PLC, se puede observar que el proceso está en modo manual (M0) y que iniciar ciclo también esta desactivado.

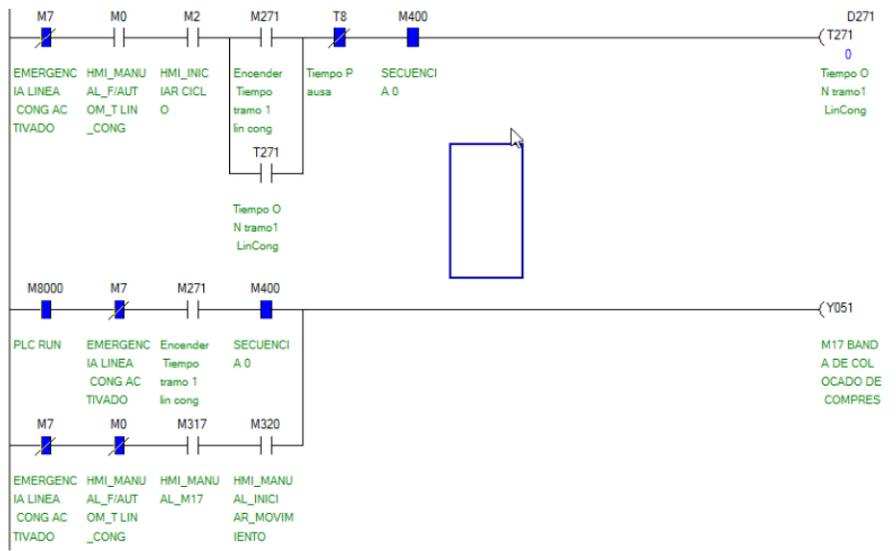


Figura 5.5 Monitoreo online en el software de programación del PLC que permite vislizar el estado del programa

Fuente: Autor

Desde el HMI se coloca el sistema en modo automático y se inicia el ciclo de funcionamiento. En la Figura 5.6 se muestra el HMI colocado en los modos mencionados anteriormente. Desde el HMI se carga los tiempos de funcionamiento de cada línea y el tiempo de pausa que es general para todas las bandas.



Figura 5.6 HMI seleccionando el modo automático e inicio de ciclo

Fuente: Autor

En la Figura 5.7 se muestra que el motor de la banda donde se realiza el proceso de colocado del compresor encendido hasta que cumpla el tiempo fijado y se apague, como muestra en la Figura 5.8.

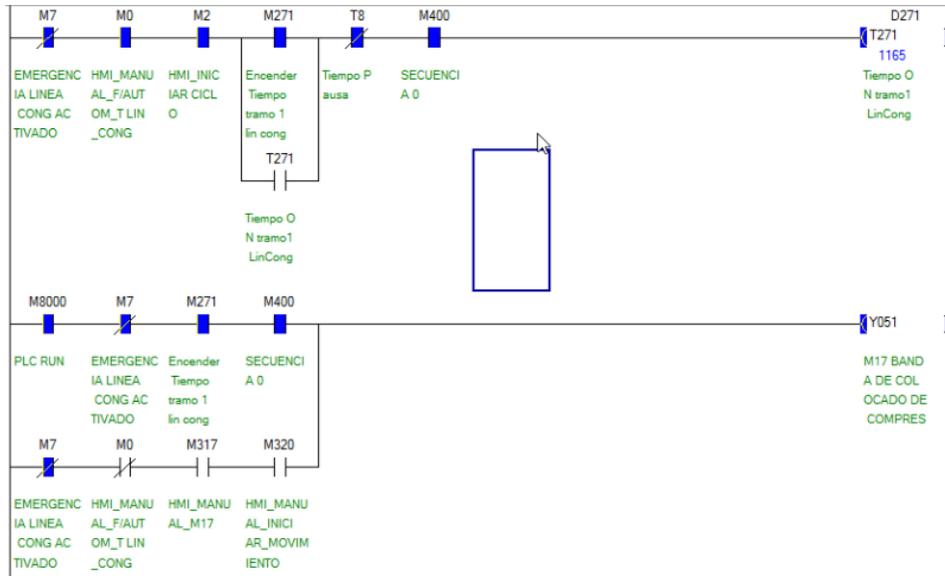


Figura 5.7 Parte del programa del PLC que muestra el funcionamiento d la banda donde se realiza el proceso de colocado del compresor, motor encendido

Fuente: Autor

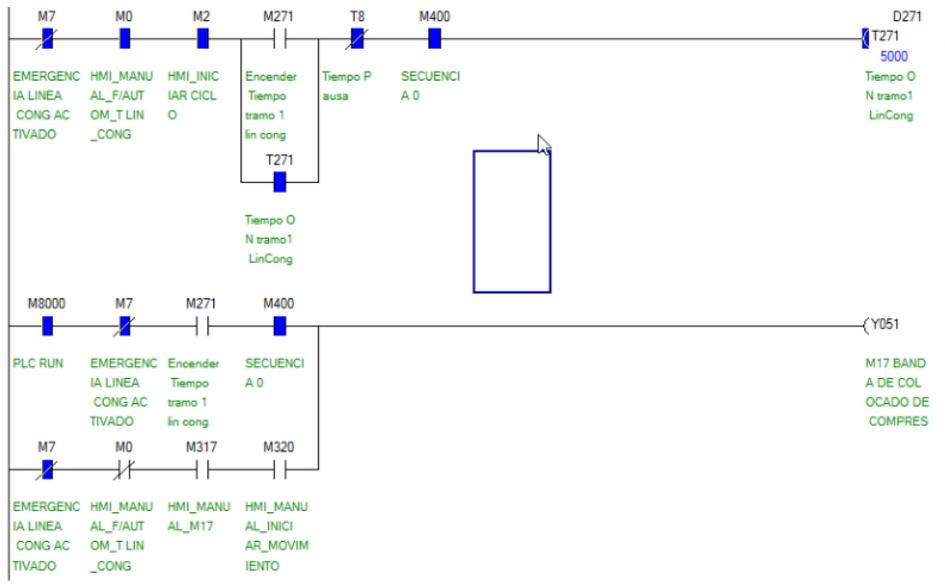


Figura 5.8 Parte del programa del PLC que muestra el funcionamiento de la banda donde se realiza el proceso de colocado del compresor.

Fuente: Autor

En la Figura 5.9 se muestra como el HMI está recibiendo los datos del PLC, en este caso para visualizar el tiempo transcurrido del encendido de cada una de las bandas.

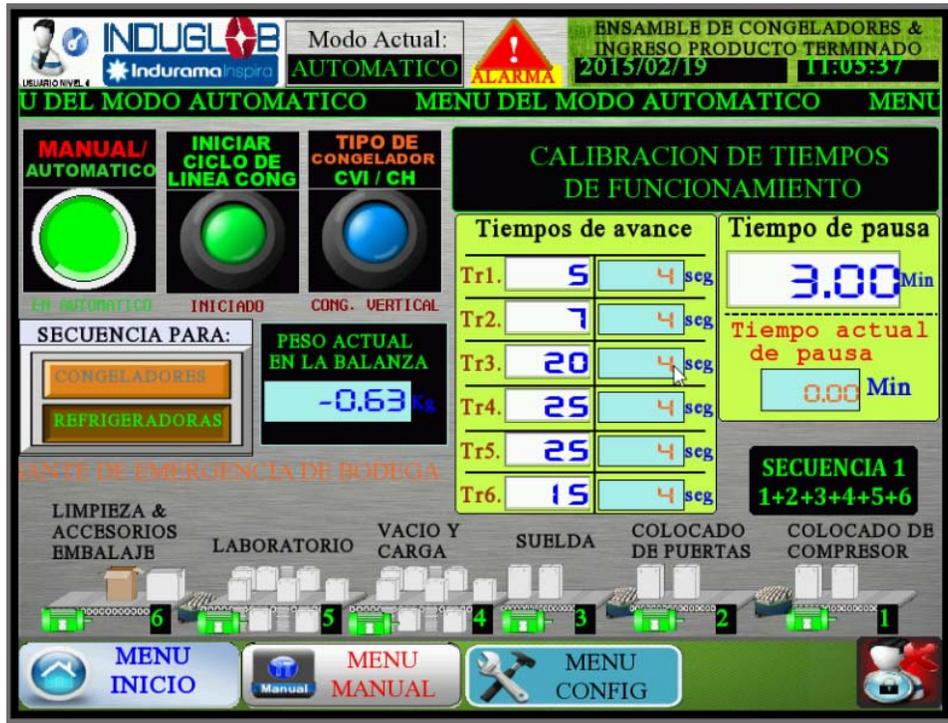


Figura 5.9 HMI visualizando el tiempo transcurrido de encendido de las bandas de ensamble

Fuente: Autor

Este tipo de pruebas permitió comprobar que la comunicación y el envío/recepción de datos entre el PLC y HMI, y el funcionamiento del proceso son correctos.

5.3 Pruebas de funcionamiento entre el servidor OPC y PLC

Para realizar las pruebas de funcionamiento entre el servidor OPC y el PLC se siguió el esquema planteado en el diagrama de casos de uso de la Figura 5.10.

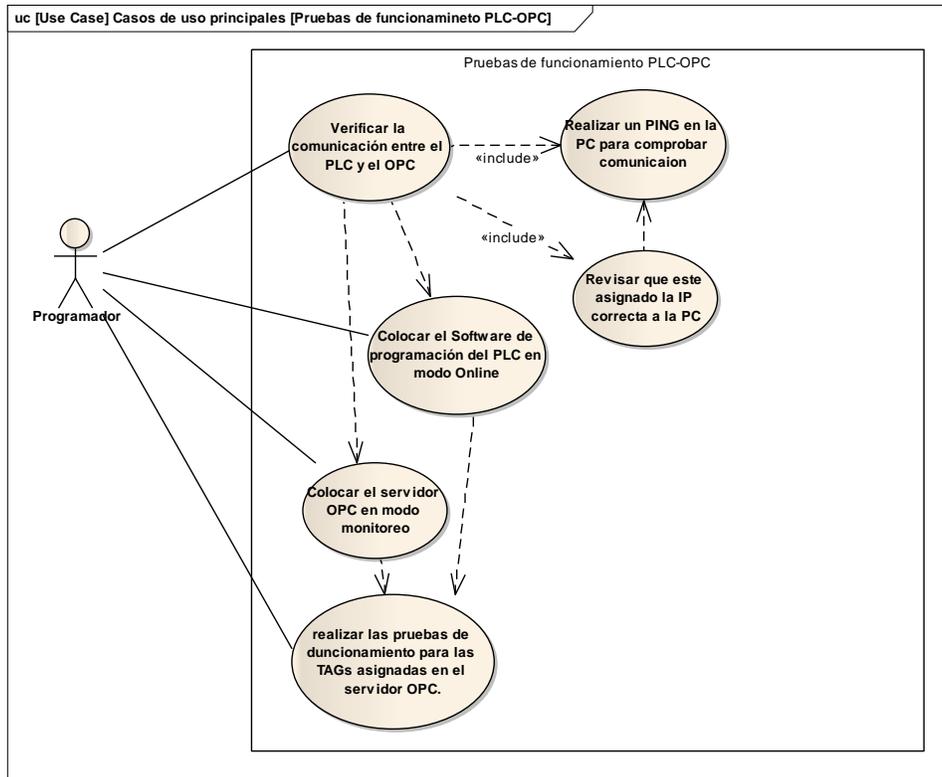


Figura 5.10 Diagramas de casos de uso para realizar las pruebas de funcionamiento entre el PLC y el OPC

Fuente: Autor

En la Figura 5.11 se muestra la prueba realizada para leer el dato del peso. A la izquierda se muestra el servidor OPC y a la derecha el software de programación del PLC, ambos están en modo online.

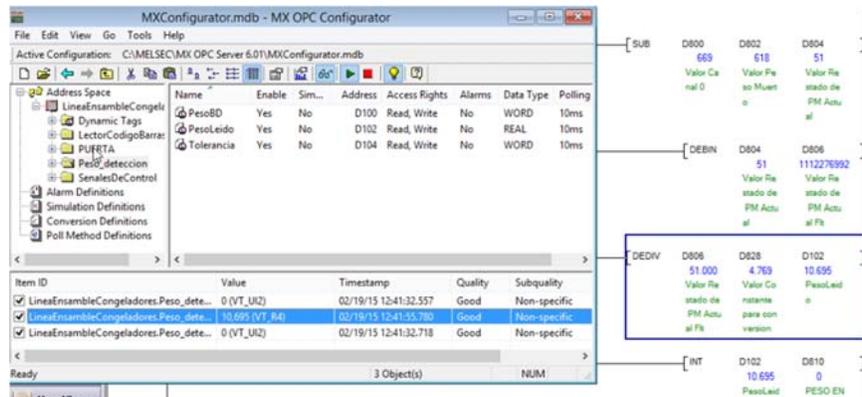


Figura 5.11 Pruebas de funcionamiento realizado para la TAG "PesoLeido"

Fuente: Autor

5.4 Pruebas de funcionamiento del software desarrollado en LabVIEW

A continuación se detallan las pruebas de funcionamiento de la comunicación con el lector de código de barras, la conexión con la base de datos a carga de datos y la comunicación con el servidor OPC. En la Figura 5.12 se muestra la prueba de comunicación entre el lector de código de barras y LabVIEW, donde se ha leído la etiqueta que se mostró en la Figura 5.2.

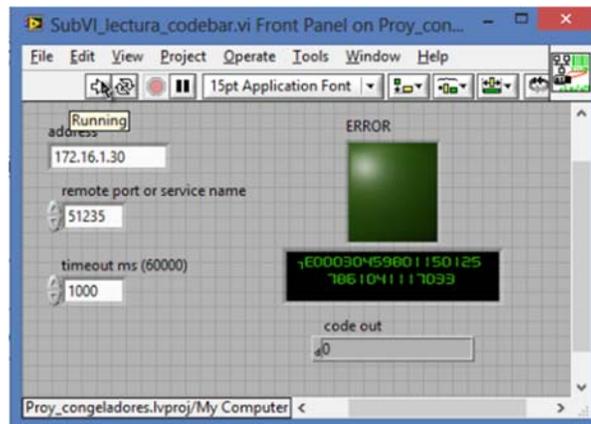


Figura 5.12 Pruebas de funcionamiento entre LabVIEW y el lector de códigos de barras

Fuente: Autor

Para realizar la prueba de conexión con la base de datos y carga de datos se usó el esquema planteado en el diagrama de casos de uso de la Figura 5.13. En este diagrama se explica cómo se procedió para realizar las pruebas de escritura desde LabVIEW hacia la base de datos.

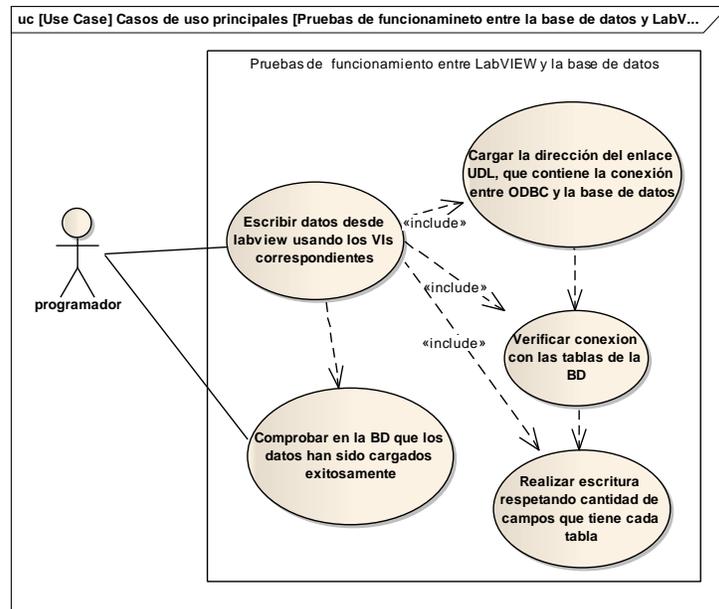


Figura 5.13 Diagrama de casos de uso para realizar las pruebas de funcionamiento entre LabVIEW y la base de datos

Fuente: Autor

En la Figura 5.14 se muestra la prueba que se hizo para probar que existe conexión, en este caso se ha listado las tablas que tiene el esquema *prod-terminado* de la base de datos en MySQL.

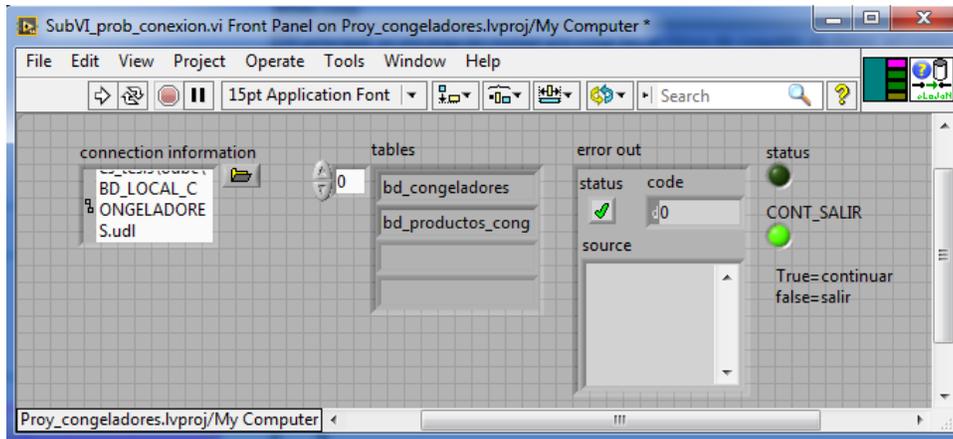


Figura 5.14 Prueba para verificar comunicación con la base de datos
Fuente: Autor

Finalmente, para verificar que los datos del OPC se están leyendo bien en LabVIEW, es necesario realizar las pruebas correspondientes para cada TAG que se va a usar en el programa, básicamente siguiendo el mismo esquema que se planteó en el diagrama de casos de uso de la Figura 5.10. En la Figura 5.15 se muestra la prueba que se realizó para la lectura del peso.

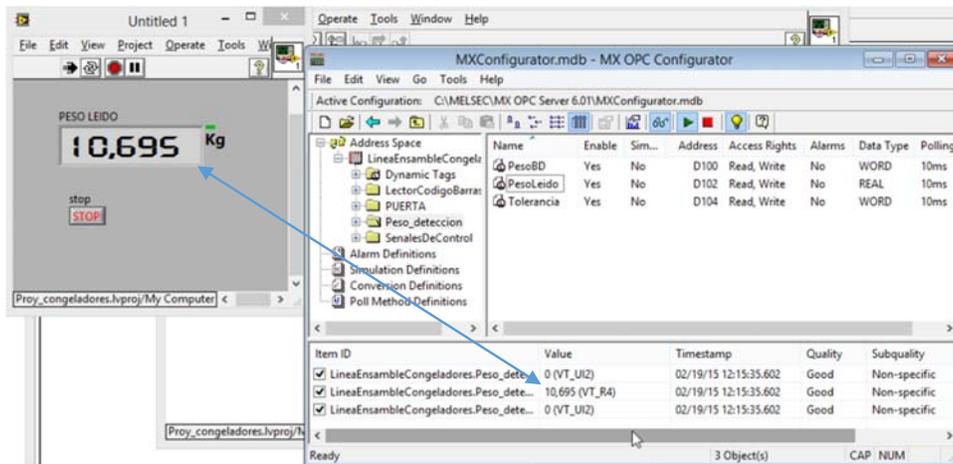


Figura 5.15 Prueba de comunicación entre LabVIEW y el OPC server
Fuente: Autor

5.5 Puesta en marcha

Una vez que se han realizado las respectivas pruebas de funcionamiento y de comunicación entre los diferentes dispositivos, se procede a poner el sistema automatizado en funcionamiento.

A continuación se presenta las fotos de los subprocesos que conforman la línea de ensamble de producto terminado y de ingreso de producto terminado.

En la Figura 5.16 se ilustra la banda donde se realiza el subproceso de “Colocado del Compresor”, que es el primer subproceso de la línea de ensamble del congelador.



Figura 5.16 Banda donde se realiza el subproceso “colocado del compresor”

Fuente: Cortesía de INDUGLOB S.A

En la Figura 5.17 muestra la banda en donde se realiza el subproceso “Colocado de puertas”, que es el segundo subproceso de la línea de ensamble de congeladores.



Figura 5.17 Banda donde se realiza el subproceso “Colocado de puerta”
Fuente: Cortesía de INDUGLOB S.A

En la Figura 5.18 se puede observar la banda donde se realiza el subproceso de “Soldadura de cañerías”, que es el tercer subproceso de la línea de ensamble.



Figura 5.18 Banda donde se realiza el proceso “Soldadura de cañerías”
Fuente: Cortesía de INDUGLOB S.A

En la Figura 5.19 se puede observar la banda donde se realiza el subproceso “Vacío y carga”, que constituye el cuarto proceso de la línea de ensamble.



Figura 5.19 Banda donde se realiza el subproceso “Vacío y carga”
Fuente: Cortesía de INDUGLOB S.A

En la Figura 5.20 se muestra el subproceso “Pruebas de laboratorio”, que es el quinto subproceso de la línea de ensamble.



Figura 5.20 Banda donde se realiza el subproceso “Pruebas de laboratorio”
Fuente: Cortesía de INDUGLOB S.A

En la Figura 5.21 se ilustra la banda donde se realiza el subproceso “Embalaje” que es el penúltimo subproceso de la línea de ensamble de congeladores.



Figura 5.21 Banda donde se realiza el subproceso “Embalaje”
Fuente: Cortesía de INDUGLOB S.A

En la Figura 5.22 se puede observar el lugar donde se realiza el subproceso “Validación para ingreso del producto a bodega”, el cual es el último subproceso de la línea de ensamble de congeladores.



Figura 5.22 Lugar donde se realiza el subproceso “Validación para ingreso del producto a bodega”
Fuente: Cortesía de INDUGLOB S.A

A continuación se describe el funcionamiento del subproceso “Validación para ingreso de producto a bodega”, que es el proceso donde más trabajos se realizan.

En primer lugar se ejecuta la aplicación para la validación del producto terminado, como se muestra en la Figura 5.23, esto es:

- 1) Se abre el ejecutable que se encuentra en el escritorio.
- 2) La aplicación se abre y empieza a realizar las verificaciones y creación de los archivos necesarios para garantizar el correcto funcionamiento del programa, como se indicó en la máquina de estados de la Figura 4.27.
- 3) Se abre una ventana para ingresar el nombre del usuario y contraseña.

Si se valida correctamente todos los datos, incluido el usuario y contraseña se ejecuta la aplicación, como se ilustra en la Figura 5.24.

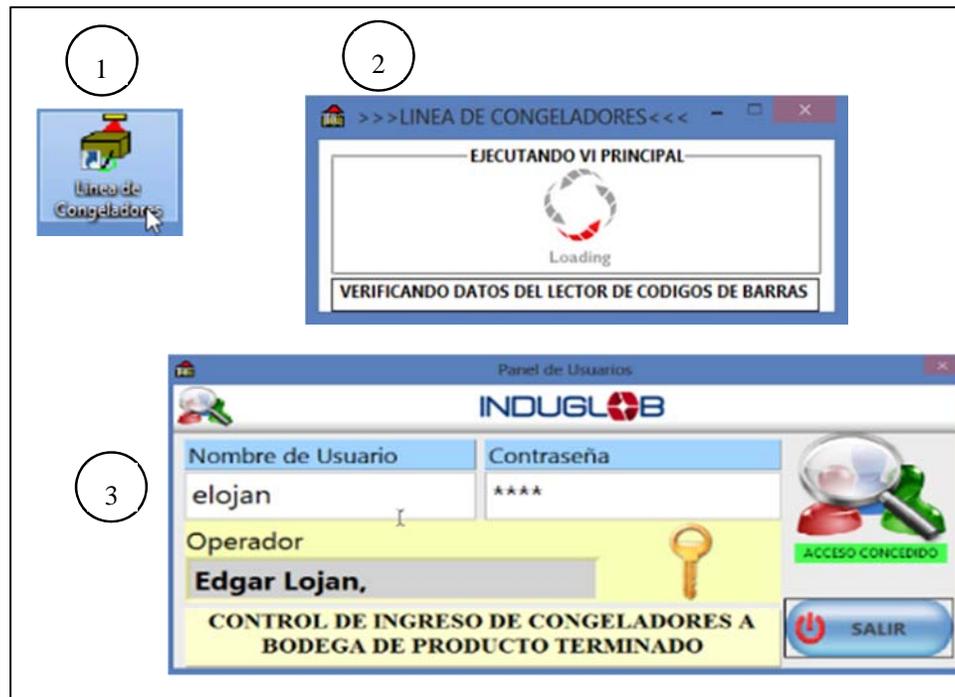


Figura 5.23 Pasos para ejecutar la aplicación de validación del producto terminado

Fuente: Autor

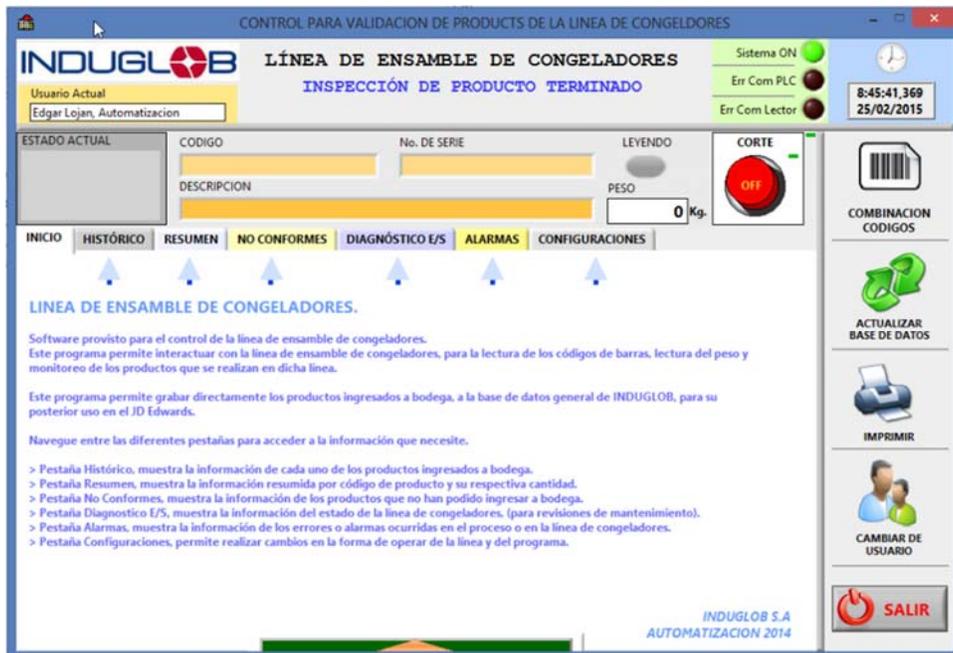


Figura 5.24 Ventana principal de la aplicación que valida el producto terminado
Fuente: Autor

Una vez que el producto llega al sensor que activa la lectura y se cumple la lógica interna programada en el PLC, este envía una señal a la aplicación de validación mediante OPC y empieza a recibir los datos del lector de códigos de barras.

En la Figura 5.25 se muestra el producto ingresando al proceso de validación, primero se lee el código de barras, del producto. En la Figura 5.26 se muestra las variables que se están leyendo del PLC a través del servidor OPC, en este caso indicando al software de validación que hay presencia de producto y que debe realizar la lectura del lector de códigos de barras.

En la Figura 5.27 se puede observar que la lectura del código de barras se ha leído correctamente y está en espera del peso del producto. Una vez que valide en la base de datos que el producto está dentro del rango del peso permitido, dejará que ingrese a bodega, caso contrario rechaza el producto. El producto puede ser rechazado porque, no cumple el peso, no se ha leído el código de barras, el número de serie esta repetido o porque el producto no está registrado en la base de datos y por ende no tiene de donde sacar el peso del producto. En la Figura 5.28 se muestra por ejemplo que el producto ha sido rechazado por no cumplir especificaciones de peso.



Figura 5.25 Producto ingresando al proceso de validación, se lee el código de barras del producto
Fuente: Cortesía de INDUGLOB S.A

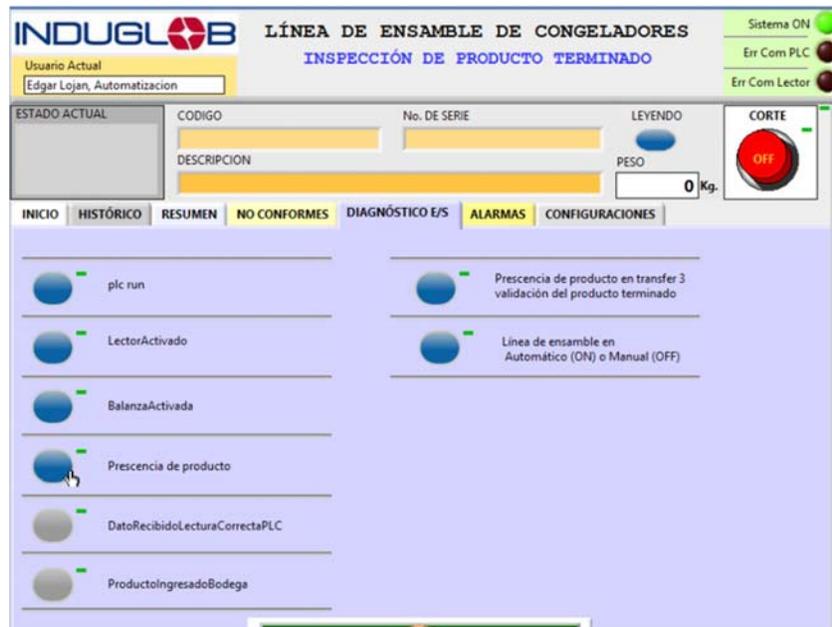


Figura 5.26 Aplicación de validación recibe las señales del PLC a través del servidor OPC
Fuente: Autor



Figura 5.27 Aplicación de validación del producto terminado, ha leído el código de barras y está en espera de la lectura del peso del producto

Fuente: Autor



Figura 5.28 Validación del producto terminado, no cumple especificaciones de peso

Fuente: Autor

En la Figura 5.31 se muestra un producto terminado ingresando a bodega ya que ha sido validado correctamente y en la Figura 5.32 se muestra que botón presionar para actualizar la base de datos, en este caso se sigue el procedimiento descrito en la Figura 4.38.



Figura 5.31 Producto validado correctamente, ingresa a bodega
Fuente: Cortesía de INDUGLOB S.A

INDUGLOB LÍNEA DE ENSAMBLE DE CONGELADORES
INSPECCIÓN DE PRODUCTO TERMINADO

Sistema ON
Err Com PLC
Err Com Lector

14:47:01,501
23/02/2015

Usuario Actual
Edgar Lejan, Automatizacion

ESTADO ACTUAL

CODIGO No. DE SERIE LEYENDO

DESCRIPCION PESO 0 Kg.

CORTE OFF

COMBINACION CODIGOS

INICIO HISTÓRICO RESUMEN NO CONFORMES DIAGNÓSTICO E/S ALARMAS CONFIGURACIONES

RESUMEN

CANTIDAD	TIPO	CODIGO DE PRODUCTO	DESCRIPCION
3	REFRIGE	7861041135235	CI-200 T.V INDURAMA S50
13	REFRIGE	7861041117033	CI-300 INDURAMA (PER)
1	REFRIGE	7861041131114	CI 300 INDURAMA S50

Envía los datos actuales a la BD de MARCIMEX
BASE DE DATOS

IMPRIMIR

CAMBIAR DE USUARIO

SALIR

Figura 5.32 Actualizar base de datos
Fuente: Autor

CAPÍTULO 6

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

Con este trabajo se implementó un sistema automatizado para el mando y control de la línea de ensamble de congeladores y validación del producto terminado para ingresar a bodega, identificando las necesidades del área de producción con la ayuda de los modelados de los procesos.

El uso de la metodología de modelado de negocios, BMM, ayudo de gran manera para desarrollar y entender cómo funciona el proceso de ensamble de congeladores y de la validación del producto, ya que permitieron establecer todos los actores, las reglas del negocio, las tecnologías y el objetivo de cada proceso y subproceso partiendo desde la cadena de valor hasta llegar al diagrama de actividades de control.

Con el diagrama de actividades de control que se obtuvo del uso de la metodología de modelado de negocios, BMM, se logró diseñar la guía de marchas y paradas de una forma más rápida y eficiente al saber el funcionamiento de cada subproceso.

Con la ayuda de GEMMA, se logró determinar todos los modos de marcha y parada posibles para el proceso de ensamble y validación, permitiendo así desarrollar un GRAFCET que para generar una idea del funcionamiento del sistema de automatización.

Los resultados que arrojaron tanto BMM como GEMMA permitió establecer los requerimientos de instrumentación como sensores, detectores y actuadores, también permitieron establecer los requerimientos de comunicación entre los diferentes dispositivos usados en este trabajo, como el lector de código de barras y el software de validación, así como también, la comunicación entre el PLC y LabVIEW mediante el servidor OPC, y la comunicación entre el PLC y el HMI.

Con los resultados de GEMMA y del GRAFCET que se obtuvo y adicionalmente teniendo en cuenta los elementos de instrumentación y comunicación necesarios, se logró diseñar las secuencias de funcionamiento del sistema automatizado y posteriormente implementar en el PLC logrando la puesta en marcha de la línea de ensamble de congeladores y de validación para el ingreso del producto terminado.

Para el desarrollo del software de validación del producto terminado, hecho en LabVIEW, fue necesario realizar correctamente las configuraciones de comunicación

tanto para el PLC, el servidor OPC y el lector de códigos de barras y también configurar correctamente la conexión con las bases de datos.

Los diagramas de casos de uso realizado para cada configuración permiten tener una idea de cómo se tiene que hacer cada una de las configuraciones, permitiendo así que el este trabajo sirva de guía y metodología para posteriores automatizaciones del mismo tipo o parecidas.

Este trabajo demuestra que para llevar delante de manera eficiente la automatización de procesos industriales es necesario integrar diferentes modelos, conceptos y marco metodológicos que permitan de modo claro y eficiente conocer el sistema de negocios y entender los procesos que se deben automatizar y definir el plan de ejecución y puesta en marcha del diseño. En este trabajo, las metodologías usadas proporcionaron herramientas útiles para llevar a cabo el proyecto de automatización propuesto. Podemos decir entonces que gracias al uso de las metodologías de conceptualización se puede sacar ventaja al realizar una automatización, debido a que ayuda a ser más rápido y eficiente, minimizando tiempos de entrega y garantizando el correcto funcionamiento y entendimiento del proceso automatizado.

6.2 Recomendaciones

Como trabajos futuros se propone realizar la automatización en los subprocesos “Vacío y Carga” y “Pruebas de Laboratorio” para colocar los congeladores en cada uno de los puestos de revisión, ya que actualmente todavía esa tarea es en modo manual. Se podría plantear el uso de servomotores para el posicionamiento en cada puesto de trabajo, usando así mismo las metodologías revisadas en este trabajo.

Se recomendaría también lograr una mayor integración entre los procesos de planta y los niveles de gestión a través de un sistema SCADA, que permita gestionar también el mantenimiento preventivo y correctivo de la línea de ensamble y de otros procesos adicionales, usando como base la metodología de modelado de procesos de negocio el marco referencial METAS, para automatización integrada.

Se recomienda usar las metodologías desarrolladas en este trabajo para otras aplicaciones en el área industrial, por todas las ventajas que estas ofrecen tanto en información, documentación e implementación.

BIBLIOGRAFÍA

- Alvarez, M. L., Burgos, A., Sarachaga, I., Estévez, E., & Marcos, M. (2014). Desarrollo metodológico de sistemas de control aplicando ingeniería conducida por modelos. *Actas de las XXXV Jornadas de Automática*. Valencia. Obtenido de http://www.ja2014.upv.es/wp-content/uploads/papers/paper_76.pdf
- AmCham Guayaquil. (Noviembre de 2013). www.amchamecuador.org. Recuperado el 26 de enero de 2015, de <http://es.slideshare.net/amchamguayaquil/presentacion-basc-ecuador-amcham-exportadores>
- Aragonès, O. B., Saigí Grau, M., & Zabaleta Alañà, F. (1998). *Automatismos eléctricos programables*. (U. P. Catalunya, Ed.) Barcelona: Edicions UPC.
- Balcells, J., & Romeral, J. L. (2000). *Autómatas programables*. Barcelona: Marcombo, S.A.
- Barreto, R. (22 de enero de 2012). Instrumentacion, recorderis. Cuenca, Azuay, Ecuador.
- Barreto, R. (22 de marzo de 2012). Sistemas de supervisión y control SCADA, presentaciones del módulo SCADA, maestria UPS. Cuenca, Azuay, Ecuador.
- Barrios, J. (3 de mayo de 2012). Modelo empresarial, método BMM para el modelado de negocios: procesos del negocio. Venezuela.
- Bitter, R., Mohiuddin, T., & Nawrocki, M. (2006). *LabVIEW Advanced Programming Techniques, Second Edition*. CRC Press.
- Bravo Llano, I. (29 de junio de 2007). Ethernet. Obtenido de https://www.ica.es/publicaciones/anales_get.php?id=1428
- Cázar, G., Sallas, J., Castillo, H., Rodríguez, A., Lugo, S., & Ramírez, M. (2014). Sistema de control inalámbrico: diseño, construcción y aplicación en caldera industrial. *Ra Ximhai*, 39-53. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=46131111004>
- Cerrada Lozada, M. (2014). Sistemas de eventos discretos, introducción. Cuenca, Azuay, Ecuador.
- Chacón, E. (octubre de 2014). Automatización integrada: El enfoque holónico. Cuenca, Azuay, Ecuador.
- Córdoba Nieto, E. (2006). Manufactura y automatización. *Ingeniería e Investigación*, 26(3), 120-128.
- Creus Solé, A. (2010). *Instrumentacion Industrial, 8a Edicion*. México: Alfaomega.

- Datalogic. (2014). <http://www.datalogic.com/esp>. Obtenido de <http://www.datalogic.com/esp/productos/industrial-automation/lectores-industriales-fijos-de-c%C3%B3digo-de-barras/ds6300-pd-353.html>
- Datalogic Automation. (1 de octubre de 2012). DS6300 Reference Manual. Bologna, Italy.
- Discovery Max. (08 de febrero de 2014). www.youtube.com. Recuperado el 09 de febrero de 2015, de https://www.youtube.com/watch?v=oW_Lh8Os_bs
- Eriksson, H.-E., & Penker, M. (2000). *Business Modeling with UML*. Wiley.
- Festo. (enero de 2008). Fundamentos de la técnica de automatización. Alemania.
- Festo. (23 de enero de 2015). <http://www.festo.com>. Recuperado el 26 de enero de 2015, de http://www.festo.com/cms/es_corp/13405_13411.htm#id_13411
- Fundación ASCAMM. (2007). *Automatización integral de la empresa industrial, estudio de prospectiva*. Madrid: Fundacion ASCAMM. Recuperado el 01 de febrero de 2015, de <http://www.opti.org/publicaciones/pdf/texto13.pdf>
- García Higuera, A., & Castillo García, F. (2007). *CIM: El computador en la automatización de la producción*. Madrid: Universidad de Castilla La Mancha.
- García Moreno, E. (1999). *Automatización de procesos industriales: robótica y automática*. Valencia, España, España: Universidad Politecnica de Valencia.
- Gómez, F. (2005). *Automatización de Sistemas de Producción*. Sevilla.
- Heizer, J., & Render, B. (2009). *Principios de administración de operaciones*. México: PEARSON Educación.
- IDC_Technologies. (2007). *Practical Industrial Programming using IEC 61131-3 for PLCs*. New York: IDC.
- IEC. (14 de enero de 2003). IEC 61131-3 Programmable controllers - Programming languages. Geneva, Switzerland. Recuperado el 27 de enero de 2015
- Indurama. (2014). www.indurama.com. Recuperado el 26 de enero de 2016, de <http://www.indurama.com/Paises/Ecuador/Acerca-de-Indurama/Sobre-nosotros>
- Indurama. (2014). www.indurama.com. Recuperado el 26 de enero de 2015, de <http://www.indurama.com/Acerca-de-Indurama/Políticas-de-calidad>
- Indurama. (s.f.). www.indurama.com. Recuperado el 26 de enero de 2015, de <http://www.indurama.com/Acerca-de-Indurama/Exportacion>
- InfoPLC. (14 de Marzo de 2014). <http://www.infopl.net>. Recuperado el 26 de Enero de 2015, de <http://www.infopl.net/noticias/item/101782-sistemas-produccion-futuro-industria-4-0>

- Karl Heinz, J., & Tiegelkamp, M. (2001). *IEC 61131-3: Programming Industrial Automation Systems: Concepts And Programming Languages, Requirements for Programming Systems, AIDS to Decision-making Tools*. Springer Science & Business Media.
- Kinco. (febrero de 2012). <http://www.kinco.cn/en/>. Recuperado el 23 de septiembre de 2014, de <http://www.kinco.cn/html/en/products/HMI/MT4000series/201202/241794.html>
- Lajara Vizcaíno, J. R., & Pelegrí Sebastián, J. (2011). *LabVIEW : entorno gráfico de programación*. Marcombo.
- Love, J. (2007). *Process Automation Handbook: A Guide to Theory and Practice*. Springer London.
- Mendoza Vargas, J. A., Cortés Osorio, J. A., & Muriel Escobar, J. A. (2011). Control secuencial de un circuito electroneumático a través de un PLC. *Scientia et Technica Año XVI*, 191-195.
- Mitsubishi Electric. (septiembre de 2002). FX2N-4AD special function block, user's guide. Japón.
- Mitsubishi Electric. (22 de enero de 2009). Serie MELSEC FX3U: Controladores Lógicos programables. Manual de instrucciones. España.
- Mitsubishi Electric. (21 de ENERO de 2011). MX OPC Configurator Online Help.
- Mitsubishi_Electric_Corporation;. (2014). <https://es3a.mitsubishielectric.com/>. Recuperado el 16 de 09 de 2014, de https://es3a.mitsubishielectric.com/fa/es/products/cnt/plc_fx/items/local
- Montilva, J., & Barrios, J. (2004). BMM: A Business Modeling Method For Information Systems Development. *CLEI Elect Journal*. Mérida.
- Montilva, J., & Chacón, E. (2002). Enfoques de automatización e integración de sistemas heterogéneos en empresas de producción. *V Jornadas Científico Técnicas de la Facultad de Ingeniería*. Mérida: Universidad de los Andes.
- Montilva, J., Chacon, E., & Colina, E. (Mayo de 2000). Un método de automatización integral para sistemas de producción continua. *Actas de las IV Jornadas Panamericanas de Automatización*. Caracas.
- National Instruments. (07 de septiembre de 2012). www.ni.com. Obtenido de <http://www.ni.com/white-paper/7451/en/>
- National Instruments. (11 de Diciembre de 2013). www.ni.com. Obtenido de <http://www.ni.com/white-paper/7906/es/>
- OPC Foundation. (2015). opcfoundation.org. Obtenido de <https://opcfoundation.org/about/what-is-opc/>

- Ponsa Asencio, P., & Vilanova Arbós, R. (2005). *Automatización de procesos mediante la guía GEMMA*. Catalunya: Univ. Politèc. de Catalunya.
- Ponsa, P., Vilanova, R., & Amante, B. (2011). Human Intervention and Interface Design in Automation Systems. *International Journal of Computers Communications & Control*, 6(1), 166-174.
- Ponsa, P., Vilanova, R., & Díaz, M. (2007). Introducción del Operario Humano en el Ciclo de Automatización de Procesos Mediante la Guía GEMMA. *Información Tecnológica*, 18(5), 21-30.
- Ridley, J. (2004). *Mitsubishi FX Programmable Logic Controllers, Applications and Programming*. Elsevier.
- Rodriguez Penin, A. (2007). *Sistemas SCADA*. Barcelona, España: MARCOMBO-ALFAOMEGA.
- Sensor Techniques Ltd. (s.f.). LAC 74.1 Load Cell Amplifier with Analogue Output. Reino Unido.
- Sensor Techniques Ltd. (s.f.). Load Cell Junction Box, Model QLJ 67.1. Reino Unido. Obtenido de www.loadcells.com/PDF/Junction-Box-QLJ67.pdf
- Varela, M., & Jácome, H. (2011). *Elaboración de partes y piezas para el sector de línea blanca*. Quito. Obtenido de <https://www.flacso.edu.ec/portal/pnTemp/PageMaster/9p6suz41iwop5nwho5md09dzz7jkps.pdf>