



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA
MECÁNICA ELÉCTRICA**

**Diseño de la sincronización automatizada de carga y
descarga del lavado de botellas de diferentes formatos para
mejorar la efectividad de la máquina Hidrojet - Línea 2 en una
empresa de bebidas gasificadas de la ciudad de Trujillo-Perú**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
Ingeniero Mecánico Electricista**

AUTOR:

Leon Aguilar, Sergio Enrique (ORCID: 0000-0002-5342-788X)

ASESOR:

Valderrama Campos, Edwin Ronald (ORCID: 0000-0003-1254-8340)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Modelamiento y Simulación de sistemas electromecánicos

TRUJILLO – PERÚ

2021

DEDICATORIA

Dedico esta tesis:

En primer lugar, empiezo dedicando a DIOS, ya que siempre me bendijo con buena salud y oportunidades de seguir superándome en lo profesional y personal.

A mis Padres por su apoyo incondicional y siempre motivarme para seguir saliendo adelante ante todas las dificultades y obstáculos que se puedan presentar en el camino.

A mi hija Sofía, que se convirtió en una personita muy especial para mi desde el primer día que supe que existía, siendo más aún el motor y motivo por el cual quiero salir

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por brindarme una vida sana, junto a unos padres grandiosos siempre estando pendientes de cada paso que doy y no dejando de preocuparse cada día que pasa, por sus sabios consejos que siempre me brindan sin importar la edad que tenga ya que ellos siempre me desean y quieren lo mejor, a mi asesor, que con su experiencia me pudo ayudar y poner en claro mis ideas, por otro lado, a la Universidad que sin ella no hubiera sido posible de cumplir una de mis metas planteadas en el ámbito profesional.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
RESUMEN.....	xii
ABSTRACT.....	xiii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO	7
III. METODOLOGÍA	22
3.1. Tipo y Diseño de Investigación	22
3.2. Variables y Operacionalización.....	22
3.2.1. Variable Independiente	22
3.2.2. Variable Dependiente	22
3.2.3. Operacionalización de Variable Independiente	23
3.2.4. Operacionalización de Variables Dependientes	24
3.3. Población, muestra y muestreo	25
3.3.1. Población.....	25
3.3.2. Muestra	25
3.3.3. Muestreo	25
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	25
3.5. Procedimientos.....	25
3.6. Método de análisis de datos	26
3.7. Aspectos éticos	27
IV. RESULTADOS.....	27
4.1. Diagnóstico actual de la máquina e identificación de su disponibilidad.....	27
4.1.1. Máquina Hidrojet.....	27
4.1.2. Sistemas de carga de botellas	29
4.1.3. Drenaje de residuos.....	30
4.1.4. Remojo	31
4.1.5. Lavado y desinfectado	32
4.1.6. Pre enjuague y enjuague final.....	33
4.1.7. Sistema de descarga de botellas	34
4.1.8. Indicador overall equipment effectiveness	34
4.1.9. Disponibilidad de la máquina	51
4.2. Definición los equipos eléctricos y electrónicos para realizar la automatización de la carga y descarga de botellas	52

4.2.1. Selección del motor eléctrico y freno	52
4.2.2. Selección del controlador.....	61
4.2.3. Selección del equipo de protección	65
4.2.4. Selección del cable eléctrico.....	70
4.2.5. Selección del encoder	71
4.2.6. Selección del equipo de control para el freno	76
4.3. Programación de la sincronización automática en el PLC y HMI existente, para la sincronización de la carga y descarga de botellas.....	80
4.3.1. Señales de salida y entrada del PLC	80
4.3.2. Planos de montaje de los sistemas de carga y descarga de botellas.....	87
4.3.3. Programación de la sincronización de los sistemas de carga y descarga de botellas	90
4.3.4. Programación del HMI	100
4.4. Proyección de mejora del diseño propuesto	102
4.4.1. Cálculo de indicadores del mes de agosto post implementación	106
4.4.2. Cálculo de indicadores del mes de setiembre post implementación	112
4.5. Análisis económico del diseño automatizado.....	118
4.5.1. Inversión de la automatización.....	118
4.5.2. Pérdidas por mes de producción	119
4.5.3. Beneficio útil	124
4.5.4. Retorno operacional de inversión (R.O.I).....	124
V. DISCUSIÓN.....	125
5.1. Diagnóstico actual de la máquina e identificación de su disponibilidad.....	125
5.2. Definición los equipos eléctricos y electrónicos para realizar la automatización de la carga y descarga de botellas	125
5.3. Programación de la sincronización automática en el PLC y HMI existente, para la sincronización de la carga y descarga de botellas.....	126
5.4. Proyección de mejora del diseño propuesto	127
5.5. Análisis económico del diseño automatizado.....	128
VI. CONCLUSIONES	128
VII. RECOMENDACIONES	129
REFERENCIAS	130
ANEXOS.....	134

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 01: Operacionalización de la variable independiente.....	23
Tabla 02: Operacionalización de la variable dependiente	24
Tabla 03: Técnicas e instrumentos de recolección de datos	25
Tabla 04: Resumen de producción del mes de agosto.....	36
Tabla 05: Resumen de producción del mes de setiembre.....	37
Tabla 06: Porcentaje diario de los indicadores correspondiente al mes de agosto.....	39
Tabla 07: Promedio ponderado de la disponibilidad del mes de agosto	42
Tabla 08: Promedio ponderado del rendimiento del mes de agosto	43
Tabla 09: Porcentaje diario de los indicadores correspondiente al mes de setiembre	45
Tabla 10: Promedio ponderado de la disponibilidad del mes de setiembre	48
Tabla 11: Promedio ponderado del rendimiento del mes de setiembre	49
Tabla 12: Cronograma anual del mantenimiento mayor de líneas de producción.....	51
Tabla 13: Matriz de selección del motor.....	56
Tabla 14: Matriz de selección de controlador	63
Tabla 15: Matriz de selección del equipo protección	68
Tabla 16: Llaves térmicas comerciales	69
Tabla 17: Capacidad de conductores AWG	70
Tabla 18: Matriz de selección del encoder	73
Tabla 19: Velocidad de señales por distancia	75
Tabla 20: Conversión de decimal a binario	76
Tabla 21: Matriz de selección del controlador del freno	78
Tabla 22: Capacidad de contactores comerciales	79
Tabla 23: Tiempo de regulación, paradas no programas y calidad	102
Tabla 24: Resumen de producción del mes de agosto post implementación	104
Tabla 25: Resumen de producción del mes de setiembre post implementación	105
Tabla 26: Porcentaje diario de los indicadores correspondiente al mes de agosto post implementación.....	107
Tabla 27: Promedio ponderado de la disponibilidad del mes de agosto post implementación.....	110
Tabla 28: Resumen diario y promedio ponderado del rendimiento de la máquina del mes de agosto pos implementación	111
Tabla 29: Porcentaje diario de los indicadores correspondiente al mes de setiembre post implementación.....	113
Tabla 30: Promedio ponderado de la disponibilidad del mes de setiembre pos implementación.....	116
Tabla 31: Promedio ponderado del rendimiento del mes de setiembre post implementación.....	117

Tabla 32: Activos fijos del proyecto.....	119
Tabla 33: Costos de pérdida de envases del mes de agosto	120
Tabla 34: Costos de pérdida de envases del mes de setiembre	121
Tabla 35: Costos de pérdida de los meses de agosto y setiembre.....	121
Tabla 36: Costos de pérdida de envases del mes de agosto post implementación	122
Tabla 37: Costos de pérdida de envases del mes de setiembre post implementación ...	123
Tabla 38: Costos de pérdida de los meses de agosto y setiembre post implementación	123

ÍNDICE DE GRAFICOS

Grafico N° 01: Porcentaje diario de la disponibilidad del mes de agosto	40
Grafico N° 02: Porcentaje diario del rendimiento del mes de agosto	40
Grafico N° 03: Porcentaje diario de la calidad del mes de agosto	41
Grafico N° 04: Porcentaje diario de la efectividad del mes de agosto	41
Grafico N° 05: Porcentaje ponderado de la disponibilidad del mes de agosto	43
Grafico N° 06: Porcentaje ponderado del rendimiento del mes de agosto	44
Grafico N° 07: Porcentaje diario de la disponibilidad del mes de setiembre	46
Grafico N° 08: Porcentaje diario del rendimiento del mes de setiembre	46
Grafico N° 09: Porcentaje diario de la calidad del mes de setiembre	47
Grafico N° 10: Porcentaje diario de la efectividad del mes de setiembre.....	47
Grafico N° 11: Porcentaje ponderado de la disponibilidad del mes de setiembre	49
Grafico N° 12: Porcentaje ponderado del rendimiento del mes de setiembre.....	50
Grafico N° 13: Escala de satisfacción del cliente con respecto al precio del motor	55
Grafico N° 14: Escala de satisfacción del cliente con respecto a la eficiencia del motor ..	55
Grafico N° 15: Escala de satisfacción del cliente con respecto al precio del controlador del motor	62
Grafico N° 16: Escala de satisfacción del cliente con respecto a la eficiencia del controlador del motor	62
Grafico N° 17: Escala de satisfacción del cliente con respecto al precio del equipo de protección	67
Grafico N° 18: Escala de satisfacción del cliente con respecto a la eficiencia del equipo de protección	67
Grafico N° 19: Escala de satisfacción del cliente con respecto al precio del encoder incremental	72
Grafico N° 20: Escala de satisfacción del cliente con respecto a la eficiencia del encoder incremental	72
Grafico N° 21: Escala de satisfacción del cliente con respecto a la eficiencia del controlador del freno	77
Grafico N° 22: Escala de satisfacción del cliente con respecto a la eficiencia del controlador del freno	77
Grafico N° 23: Porcentaje diario de la disponibilidad de agosto post implementación	108
Grafico N° 24: Porcentaje diario del rendimiento de agosto post implementación	108
Grafico N° 25: Porcentaje diario de la calidad de agosto post implementación	109
Grafico N° 26: Porcentaje diario de la efectividad de agosto post implementación	109
Grafico N° 27: Porcentaje ponderado de la disponibilidad del mes de agosto post implementación.....	111
Grafico N° 28: Porcentaje ponderado del rendimiento del mes de agosto post implementación.....	112

Grafico N° 29: Porcentaje diario de la disponibilidad de setiembre post implementación	114
Grafico N° 30: Porcentaje diario del rendimiento de setiembre post implementación	114
Grafico N° 31: Porcentaje diario de la calidad de setiembre post implementación	115
Grafico N° 32: Porcentaje diario de la efectividad de setiembre post implementación.....	115
Grafico N° 33: Porcentaje ponderado de la disponibilidad del mes de setiembre pos implementación.....	117
Grafico N° 34: Porcentaje ponderado del rendimiento del mes de setiembre post implementación.....	118

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 01: Lavadora de botellas KRONES	4
Figura 02: Sistema HMI – PLC – ADF- Motor CA	12
Figura 03: Tipos de programación para un PLC.....	13
Figura 04: Sistema SCADA.....	14
Figura 05: Diagrama de flujo para la selección de equipos	15
Figura 06: Diseño del motor asíncrono	18
Figura 07: Diseño de un servomotor	19
Figura 08: Encoder incremental	20
Figura 09: Acoplamiento del encoder en un motor.....	20
Figura 10: Diagrama de flujo del procedimiento de la investigación	26
Figura 11: Diagrama de flujo del proceso de lavado y desinfectado de envases.....	28
Figura 12: Carga de botellas.....	29
Figura 13: Drenaje de residuos.....	30
Figura 14: Tanque de remojo.....	31
Figura 15: Tanques de lavado y desinfectado.....	32
Figura 16: Tanque de pre enjuague y duchas de enjuague final	33
Figura 17: Descarga de botellas	34
Figura 18: Selección del motorreductor.....	57
Figura 19: Posición de montaje.....	58
Figura 20: Características del freno	59
Figura 21: Datos del motoreductor y freno	60
Figura 22: Pantalla de programación del variador danfoss.....	64
Figura 23: Descarga de botellas	64
Figura 24: Tiempo de aceleración.....	65
Figura 25: Pantalla de inicio del variador	65
Figura 26: Estructura externa de la llave termomagnética trifásica	69
Figura 27: Pulsos del encoder incremental	74
Figura 28: Contactor 3RT1316-1BB40.....	80
Figura 29: Señales de encendido de los motores de carga y descarga de botellas	82
Figura 30: Circuito de control para la activación de los frenos y alarma del sistema de carga y descarga de botellas	83
Figura 31: Señal de ingreso al PLC para activación de alarma de sobrecarga.....	84
Figura 32: Conexión de la fuente rectificadora de 380V AC – 24 VDC.....	85
Figura 33: Conexión de encoder de sincronización en el PLC	86
Figura 34: Circuito eléctrico de fuerza del sistema de carga de botellas	87

Figura 35: Circuito eléctrico de fuerza del sistema de descarga de botellas	88
Figura 36: Conexión de los frenos de los motores eléctricos	89
Figura 37: Lógica de control de marcha de motores en manual (job)	90
Figura 38: Lógica de control de encendido en automático del motor de la carga de botellas	91
Figura 39: Lógica de control de encendido en automático del motor de la descarga de botellas	92
Figura 40: Lógica de control de las alarmas de las llaves termomagnéticas de la carga y descarga de botellas.....	93
Figura 41: Lógica de control de velocidades para la sincronización por receta	94
Figura 42: Lógica de control de la sincronización automática de la receta 1	95
Figura 43: Lógica de control de la sincronización automática de la receta 2	96
Figura 44: Lógica de control de la sincronización automática de la receta 3	97
Figura 45: Lógica de control de la sincronización automática de la receta 4	98
Figura 46: Lógica de control de la sincronización automática de la receta 5	99
Figura 47: Recetas creadas en el HMI de la máquina Hidrojet.....	100
Figura 48: Ubicación de motores en el HMI de la máquina Hidrojet	101

RESUMEN

La presente investigación plantea el diseño de la sincronización automatizada de la carga y descarga del lavado de botellas de diferentes formatos para mejorar la efectividad de la máquina Hidrojet – Línea2 en una empresa de bebidas gasificadas de la ciudad de Trujillo, debido al exceso de tiempo durante la sincronización de la carga y descarga de botellas, así como también para eliminar las paradas no programadas debidas a una mala regulación. Se utiliza el método del diseño paramétrico y curvas de satisfacción del cliente para la selección de equipos como: motorreductores, variadores de velocidad, llaves termomagnéticas, cable y encoder. Se obtiene un aumento de 6% a 9% en el rendimiento de la máquina, se consigue alcanzar un 99% en la disponibilidad y también se logra reducir a un 0.1% la merma de envases. Se concluye que con el rediseño de la máquina se produce un incremento en la efectividad del equipo.

Palabras claves: Automatización, OEE, Diseño paramétrico.

ABSTRACT

The present research proposes the design of the automated synchronization of the loading and unloading of the washing of bottles of different formats to improve the effectiveness of the Hidrojet - Line2 machine in a carbonated beverage company in the city of Trujillo, due to the excess time during the synchronization of bottle loading and unloading, as well as to eliminate unscheduled stops due to poor regulation. The parametric design method and customer satisfaction curves are used for the selection of equipment such as: gear motors, variable speed drives, thermomagnetic keys, cable and encoder. An increase of 6% to 9% is obtained in the performance of the machine, it is possible to reach 99% in availability and it is also possible to reduce the waste of containers to 0.1%. It is concluded that with the redesign of the machine there is an increase in the effectiveness of the equipment.

Keywords: Automation, OEE, Parametric Design.

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad las empresas están invirtiendo mucho dinero en mejorar su producción, tratando de elevar sus eficiencias sin afectar la calidad de sus productos, apostando por la automatización industrial, que cada año va evolucionando y mejorando los procesos industriales de manera que minimizan la intervención de la mano del hombre realizando un interfaz máquina-hombre. Gracias a su avance se pudo reducir tiempos de producción con una mejor calidad y eficiencia, satisfaciendo las necesidades de las empresas y obteniendo un mejor control en el proceso de elaboración (Sanchis, 2010) (Hernandez, 2015).

A nivel Internacional, el sector de bebidas no alcohólicas aporta con un 40% en las industrias del sector de manufactura, ya que en el año 2012 retribuyó \$ 0.62 millones convirtiéndose muy importante para la generación de empleo, (Balladares, 2015). En una encuesta que fue realizada, (concluyeron que las mujeres son las que más consumen este tipo de bebidas con un porcentaje de 57% y los hombres de 43%), en todo el mundo los países que más consumen bebidas embotelladas son los del occidente, por las grandes campañas que realizan las empresas productoras. Debido a la gran demanda del producto las empresas requieren el uso de la tecnología para estar acorde al crecimiento del mercado, de la misma manera los clientes se encuentren satisfechos consumiendo dicho producto (Ganchozo, 2019).

Latinoamérica ocupa el segundo lugar en la venta de gaseosas, teniendo en el año 2016 una venta de \$ 37.9 billones, estimando en el año 2021 llegar a los \$ 41 billones. Considerando que los consumidores se sienten más satisfechos, con la creación de los nuevos sabores y formatos creados por dichas empresas, creando una curiosidad y necesidad de consumirlos (Castro, 2018).

A nivel nacional, la población creció continuamente creando un mayor impulso a las empresas al desarrollo e inversión, ya que se veía venir un mayor consumo de bebidas embotelladas. Dichas empresas como Arca Continental Lindley (Coca Cola), Ambev (Pepsi) y Aje (Kola Real), son las que mayor consumo registran en el mercado nacional. Llegaron a apostar por tecnología extranjera, implementando sus fábricas con maquinarias nuevas como también de segunda, de tal forma

llegando a cumplir con la demanda que se presentaba en el país y a la misma vez satisfaciendo a los consumidores (Moreno, 2017).

En la ciudad de Trujillo, se encuentra una fábrica automatizada dedicada a la elaboración y envasado de gaseosas, la cual está conformada por 3 líneas de envases no retornables y 2 líneas de envases retornables.

Esta fábrica trabaja las 24 horas del día, por tanto, sus equipos deben de trabajar al máximo de su rendimiento para poder cumplir con la producción requerida, sin embargo, existen fallas generando paradas no programadas en plena producción, como también un exceso de tiempo en el cambio de formato, ocasionando pérdidas y no cumplimiento de las metas establecidas.

Realizándose un seguimiento constante a estos desperfectos, se llegó a observar que en la lavadora de botellas de la línea 2 se presentaban varias paradas no programadas, como también el aumento de tiempo de 1 hora con 30 minutos en los cambios de formato, por el motivo que en la máquina se realiza la regulación de forma manual en los sistemas de la carga y descarga de botellas, ese tipo de anomalías se debe a que la lavadora es semi automatizada (Krones, 2000).

Realizando un seguimiento a los excesos de tiempos se llegó a identificar paradas no programadas de hasta 1 hora con 30 minutos por turno, debido a una mala regulación o ajuste de la misma. Conociendo que cada hora de parada tiene un costo de S/ 750 nuevos soles. Dichas paradas no programadas y los tiempos muertos en los cambios de formato, hacen que la máquina no sea efectiva para la empresa, debido también a que las regulaciones del equipo depende principalmente del maquinista.

Anualmente se programa un mantenimiento constando de 14 días, estando dividido de la siguiente forma: 10 días de mantenimiento preventivo, 3 días para la sincronización de la cadena de canastos, carga y descarga de botellas, 1 día para pruebas de funcionamiento. El trabajo de sincronización es realizado por un personal tercero, ya que la máquina cuenta con un solo motor principal y un sistema mecanizado conformado por reductores, cardanes, engranajes y cadenas.

La empresa requiere una mayor confiabilidad de la máquina, así pudiendo hacer provecho de los activos de la empresa, pudiendo obtener una mayor producción en un menor tiempo ya que la demanda de su producto lo amerita.

De acuerdo a lo planteado, se propone automatizar el sistema de carga y descarga de botellas de dicha máquina, debido a que se realiza una regulación manual para cada formato en el sistema ya mencionado, garantizando una mayor confiabilidad y reducción de tiempo en cada cambio de formato.

En la figura 01, se muestra la vista lateral de la lavadora de botellas krones.

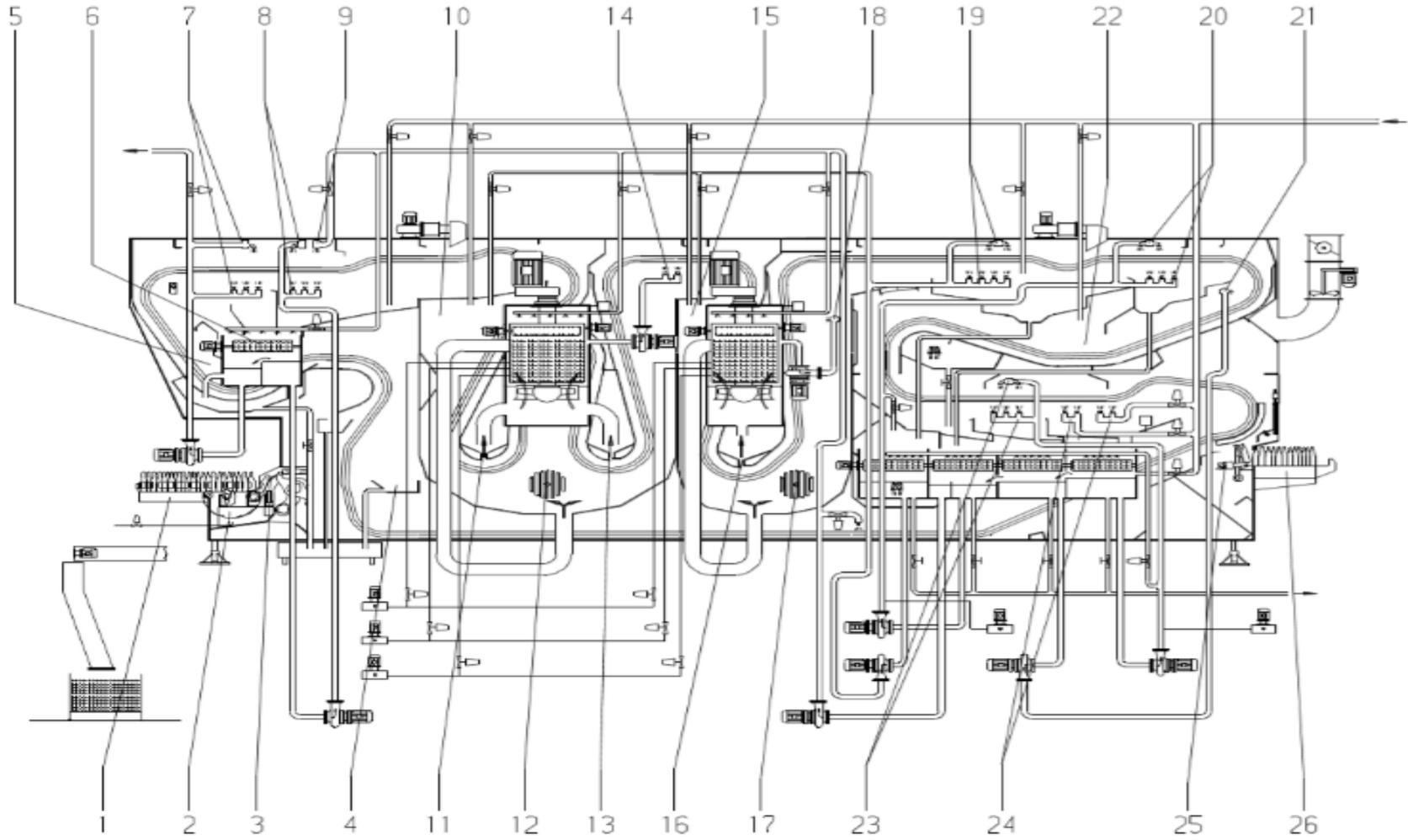


Figura 01: Lavadora de botellas KRONES

Fuente: (Krones, 2000)

Dónde:

1. Transporte De alimentación de botellas
2. Distribución por acumulación
3. Conjunto de introducción de botellas
4. Vaciado residual
5. Remojo
6. Extracción de suciedad, remojo
7. Pre rociado 1
8. Pre rociado 2
9. Pre rociado 3
10. Baño de soda caustica 1
11. Hendidura de flujo
12. Intercambiador de calor soda caustica 1
13. Hendidura de flujo
14. Sistema de rociado, soda caustica 1
15. Baño de soda caustica 2
16. Hendidura de flujo
17. Intercambiador de calor soda caustica 2
18. Tubo de flujo del baño de soda caustica 2
19. Sistema de rociado, soda caustica superior
20. Sistema de rociado, agua caliente 1
21. Tubo de baño de agua caliente 2
22. Baño por inmersión del agua caliente 2
23. Sistema de rociado, agua fría
24. Sistema de rociado, agua fresca
25. Descarga de botellas
26. Transportador de descarga de botellas

En la figura 01, se observa la distribución de la máquina, contando con una cadena que está conformada por canastos, realizando el recorrido de toda la máquina para el lavado y desinfectado de botellas. Mediante un conjunto mecánico se logra ingresar las botellas a los canastos, el proceso inicia realizando el drenaje de residuos que se encuentran dentro del envase luego pasa a un proceso de remojo en agua con soda caustica, se procede a realizar un enjuague mediante el roseado de agua recuperada, teniendo una botella menos contaminada, continuando con el proceso el envase se llega a sumergir en 2 tanques de soda caustica, obteniendo un lavado y desinfectado adecuado ya que dichos tanques se encuentran a una temperatura de 85°C. Saliendo de los tanques de soda se realiza un pre enjuague a los envases sumergiéndolos en un tanque de agua caliente, ya que el lavado final es realizado mediante chorros de agua nano filtrada fría, finalizando el proceso se realiza la descarga de las botellas mediante un sistema mecánico entregándolas a la mesa de descarga.

Por lo expresado anteriormente, la formulación del problema en la presente investigación sería: ¿En qué medida la sincronización automatizada de carga y descarga del lavado de botellas de diferentes formatos mejora la efectividad de la máquina Hidrojet-Línea 2 en una empresa de bebidas gasificadas de la ciudad de Trujillo-Perú?

La investigación se justifica mediante 2 criterios: Económica y tecnológica.

Justificación Económica y Tecnológica: Esta tesis cuenta con identificar el exceso de tiempo que se generan en cada cambio de formato, tratando de optimizarlos mediante el uso de la tecnología, como también de mantener la seguridad de los maquinistas que realizan dicho trabajo. Proponiendo el diseño de un sistema de sincronización automática, usando equipos eléctricos y electrónicos para realizar este tipo de trabajo, como también aumentando la efectividad y reducir tiempos en los cambios de formato, para obtener mejores resultados con una buena rentabilidad en la empresa. Con este diseño automatizado se puede reducir 1 hora con 30 minutos en cada cambio de formato, también la eliminación de las paradas no programadas que eran causadas por la regulación manual que se viene realizando, los excesos de tiempos mencionados anteriormente generan pérdidas irre recuperables de dinero para la empresa, ya que por cada hora de

parada equivale un costo de S/. 750. La investigación se justifica tecnológicamente, debido a que se usarán equipos modernos los cuales logran ilustrar la variable de estudio: Automatización de un sistema mecánico.

En la presente investigación se plantea la siguiente hipótesis: El diseño de la sincronización automatizada de carga y descarga del lavado de botellas de diferentes formatos mejorará la efectividad de la máquina Hidrojet-Línea 2 en una empresa de bebidas gasificadas de la ciudad de Trujillo-Perú.

Dando la respuesta al problema, se plantea el siguiente objetivo general: Diseñar la sincronización automatizada de carga y descarga del lavado de botellas de diferentes formatos para mejorar la efectividad de la máquina Hidrojet-Línea 2 en una empresa de bebidas gasificadas de la ciudad de Trujillo-Perú

Para poder conseguir el objetivo general, se plantean los siguientes objetivos específicos:

1. Realizar un diagnóstico actual de la máquina e identificar su disponibilidad para la implementación del proyecto propuesto.
2. Seleccionar los equipos eléctricos y electrónicos mediante la metodología del diseño paramétrico.
3. Programar el proceso automatizado en el PLC y HMI existente, para la sincronización automática de la carga y descarga de botellas.
4. Determinar la proyección de mejora del diseño propuesto.
5. Realizar un análisis económico del diseño automatizado.

II. MARCO TEÓRICO

Para dar sustento a la investigación, el estudio cuenta con los siguientes trabajos previos internacionales y nacionales:

Se encontró un trabajo de investigación, en la cual el autor (Ahtty, 2019), mencionó el problema con el que contaba la empresa MACROLINEA S.A. teniendo inconvenientes al realizar el lavado y desinfección de las botellas. Todo

este problema, fue debido al aumento de la demanda del producto y la baja eficiencia de producción. Por lo que tan solo se logran lavar 40 botellas diarias realizando dicho trabajo 2 operarios, ocasionando que la empresa no cumpla con los pedidos requeridos generando pérdidas de dinero y clientes. Realizó un análisis en la empresa, llegando a proponer el diseño de una lavadora de botellas semiautomática, logrando un buen lavado y desinfectado de botellas en un total de 144 botellas diarias elevando a 360% el porcentaje de botellas limpias. Gracias a las mejores obtenidas se pudo cumplir con la demanda del productor, como también al aumento de ganancias llegando a recuperar más rápido el dinero invertido.

Continuando con la investigación, se llegó a encontrar la tesis del autor (Cristancho, 2009), menciona que una empresa cervecera cuenta con una máquina de marca Barry Whemiller. La máquina contaba con varios procesos electromecánicos de manera autónoma, de tal forma que si una sección presentaba una falla las demás secciones seguían trabajando ya que esa anomalía hacía que la producción se vea alterada. Planteó como mejora integrar los componentes de la máquina a un PLC, con la capacidad de controlar todo el proceso y así tener un mejor control y revisión de las fallas que se presenten, indicando el tipo de falla y si es necesaria la intervención de un personal técnico. Logrando realizar la propuesta planteada, se mejoró la calidad del lavado de los envases, reducción de tiempos de parada y un gran aumento de botellas para ser envasadas.

Se encontró una investigación, en la cual el autor (Reinoso, 2014), mencionó que la embotelladora THE TESALIA SPRINGS COMPANY S.A, tiene una lavadora de botellas que realizaba el control de sus componentes electromecánicos con un PLC SIMATIC S5. Debido a la inexistencia de un respaldo (backup) y al anuncio realizado por la empresa siemens de la discontinuidad del PLC S5, la información corría mucho riesgo por posibles fallos en su batería ocasionando que se borre toda la programación. Propuso a la empresa a migrar la máquina a un PLC S7, diseñando e implementando un nuevo sistema de control para la máquina. Con la migración propuesta, se logró dar una mayor fiabilidad y facilidad al operario ya que con una pantalla táctil (HMI) puede monitorear y controlar todo el proceso que

se realiza para el lavado de los envases, por otro lado, se mejoró la eficiencia de la máquina de un 69% a un 84% en la eficiencia de producción.

Así mismo se llegó a encontrar la investigación, en la cual el autor (Guaigua, 2010), comentó que en el taller donde realizaba sus prácticas tenían una fresadora artesanal, donde fabricaban piezas metálicas. Debido al aumento de trabajo de piezas en aluminio, la máquina no resultaba ser eficiente por el motivo que su mesa de fresado era manual y no realizaba un buen acabado, debido a este problema se tiene que realizar un reproceso de las piezas y en el peor de los casos desecharlas. Se efectuó un estudio técnico, proponiendo un mecanismo automatizado de la mesa de trabajo, minimizando la intervención manual al momento de la fabricación del producto, los resultados obtenidos fueron favorables teniendo una mejor calidad con menores tiempos de fabricación, eliminando el desecho de piezas defectuosas. Por otro lado, se logró cumplir con la necesidad de todos los clientes permitiendo mejores ingresos a la empresa.

De igual forma en el trabajo de investigación, en la cual el autor (Odreman, 2016), mencionó que la Cervecería Polar C.A cuenta con un pasteurizador con una tecnología discontinuada. Dio a conocer que dicha máquina cuenta con un sistema de control SATTCONTROL, con la antigüedad que tiene la máquina la empresa no cuenta con ningún tipo de información como planos eléctricos y programa. Proponiendo un proyecto que constaba, en la migración del sistema de control, con el fin de también obtener nuevos planos eléctricos y un respaldo del programa. Llegaron a reemplazar el control existente por un ControlLogix, generando la creación de un nuevo programa y de nuevos planos eléctricos, como también con toda la documentación de la máquina que antes no se contaba. De esa forma se logró la estandarización de todos los componentes electrónicos con los que cuenta la sala de envasado, por otro lado, se llegó a reducir las fallas que se ocasionaban por los maquinistas.

Por otro lado, en el trabajo de investigación, en la cual el autor (Silva, 2018), menciona que en una empresa metalúrgica, contaban con una línea de producción sumamente manual, donde los operarios realizaban el comando de apertura y cierre de válvulas. Este tipo de trabajo ocasionaba desperdicio de material, como también pérdidas de tiempo y dinero a la empresa. Basándose al

problema que existían en el área, se realizó un estudio minucioso presentando una propuesta para realizar un control automático de válvulas, dicha propuesta implicaba la implementación de un PLC, también el reemplazo de las válvulas mecánicas por unas válvulas neumáticas. Llegando a obtener resultados positivos, como un buen rendimiento en el proceso, reducción de desviaciones de un 0.9 a un 0.3, como también la recuperación de la inversión realizada en el transcurso de 10.4 meses un tiempo menor al planificado.

Finalizando con los trabajos previos, se encontró un trabajo de investigación, donde el autor (Valencia, 2016), busco incrementar la eficiencia en una línea de producción de una embotelladora de cerveza. Dio a conocer que la empresa cervecera, cuenta con una línea de envasado desincronizada y con una mala regulación de velocidades, debido a esos desperfectos no se obtiene una buena eficiencia y control en sus paradas no programadas. Propuso sincronizar y modificar las velocidades con el fin de aumentar la producción y obtener un mayor control con respecto a las paradas. Implementando la propuesta dada, llegó a concluir que la sincronizar y la regulación de velocidades, obtuvo buenos resultados realizando una reducción de paradas en un 76.42% y un incremento de eficiencia en la producción de 87.78% a un 97.12%. También se obtuvo un mayor control en las paradas no programadas, llegando a identificar la máquina con más fallas en plena producción, ayudando a realizar una intervención más precisa por parte del personal de mantenimiento.

Para dar solución a la realidad problemática son necesarios los fundamentos científicos, por lo cual la presente investigación muestra las siguientes teorías relacionadas al tema, basadas en información extraída de diversos libros de control automático, instrumentación y mantenimiento.

En la actualidad la tecnología viene siendo implementada en los proyectos automatizados, mejorando la competitividad. Teniendo en cuenta que la relación entre productividad y competitividad llevó a la automatización a ser considerada como una estrategia, también implicando el tema del mantenimiento registrando que es muy importante y que va de la mano con todo equipo sea automatizado o no (Ovalle, 2013) (Rey, 2001).

Haciendo mención que existen diferentes clases de mantenimiento: Mantenimiento Predictivo, Mantenimiento Preventivo, Mantenimiento Autónomo y Mantenimiento Correctivo. De las clases mencionadas son usadas de manera independiente, indicando que antes de ejecutar alguna de ellas se debe de realizar una correcta clasificación y así ser ejecutadas en una secuencia adecuada (Iribarren, 2010) (Gomez, 1998).

El Mantenimiento Predictivo: Para este tipo de mantenimiento se utilizan equipos terceros con una tecnología muy amplia brindando la información de datos, ya que con ellos se realiza un estudio del comportamiento de las partes de la máquina en pleno funcionamiento, detectando como corriente, vibraciones, desgaste y la termografía. Así se logra prevenir parada no programada en plena producción, logrando con los resultados obtenidos una intervención anticipada, con la facilidad de obtener los repuestos a cambiar y programando una parada con el tiempo adecuado (Diaz, 1999).

El Mantenimiento Preventivo: Consta en una revisión en los tiempos que la máquina se encuentra sin producir, garantizando un buen funcionamiento de la misma. Esta se realiza mediante una buena planificación, donde también se pueda realizar acciones de corrección implicando el cambio de piezas dañadas o lubricante, esta clase de mantenimiento tiene como objetivo disminuir el índice de paradas en plena producción (Arevalo, 2012).

El Mantenimiento Autónomo: Está implicado en la limpieza, identificación de fallas y lubricación de los equipos, siendo realizado por los maquinistas. Este trabajo se basa en un programa llamado TPM que consiste en un enfoque global a lo ya mencionado, de tal forma implicando a los operarios de producción (Cuatrecasas, 2010).

El Mantenimiento Correctivo: Consiste en la corrección de desperfectos o fallas en el mismo momento de haberse efectuado, generando paradas en plena producción y teniendo que intervenir con el equipo bloqueado, ocasionando pérdida de tiempo y dinero a la empresa. Este tipo de fallas son alertadas por los operarios al personal de mantenimiento comprometiéndolos a corregir la falla en tiempo record, para poner en marcha la máquina y pueda continuar la producción,

este mantenimiento suele darse más cuando no se tiene una buena planificación y realización de los mantenimientos anteriores (Iribarren, 2010).

El PLC (control lógico programable), es un equipo electrónico con la capacidad de controlar diversos procesos industriales, este dispositivo internamente cuenta con una memoria programable, en la parte externa cuenta con bloques de señales digitales y analógicas, las cuales sirven para recibir información y a la vez brindar órdenes para la realización de trabajos de acuerdo al tipo de programación que cuente. Este dispositivo electrónico tiene la capacidad de realizar el interfaz con el sistema scada, siendo enlazado vía ethernet pudiendo brindar información en tiempo real por medio de este sistema, gracias a esta tecnología se ha logrado minimizar el cableado y la reducción de dispositivos eléctricos, cuentan con la facilidad de procesar información de cada trabajo a desarrollar (Carrillo, 2005) (Siemens, 2013).

La figura 02, muestra la estructura de un proceso automatizado.

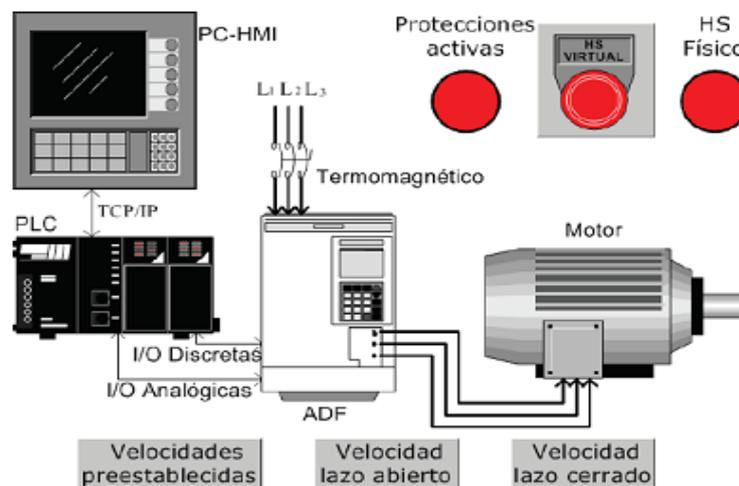


Figura 02: Sistema HMI – PLC – ADF- Motor CA

Fuente: (Carrillo, 2005)

En la figura 02, se puede observar un interfaz del PLC con el HMI, como también él envió de ordenes mediante señales discretas y analógicas a un variador de velocidad para que pueda realizar el control del trabajo de un motor eléctrico AC.

La figura 3, nos muestra los tipos de programación de un PLC.



Figura 03: Tipos de programación para un PLC

Fuente: (Siemens, 2013)

En la figura 03, se puede observar 5 tipos de programación de un PLC, el cual es la comunicación del equipo y usuario, estas programaciones son muy utilizadas en las industrias, por ende, su interpretación de cada uno es: lenguaje de diagrama de relés o ladder (LD), lenguaje de funciones secuenciales (SFC), lenguaje de texto estructurado (ST), lenguaje de diagramas secuenciales (FBD) y lenguaje de tipo ensamblador (IL).

El sistema SCADA (supervisión control y adquisición de datos), es muy usado en la automatización industrial permitiendo un mayor control del operario hacia la máquina mediante un ordenador, también permite realizar una modificación de variables en tiempo real. Ofrece una función complementaria de monitoreo, mediante otros equipos especiales brindándole la información de datos específicos de cada proceso al que fue asignado en tiempo real, logrando obtener un mejor control y monitoreo de producción. Este sistema brinda las alarmas permitiendo una intervención rápida del operario, para reparar o compensar dicha anomalía presentada (Perez, 2015) (Siemens, 2013).

La figura 04, nos muestra una pantalla HMI que representa el sistema SCADA.

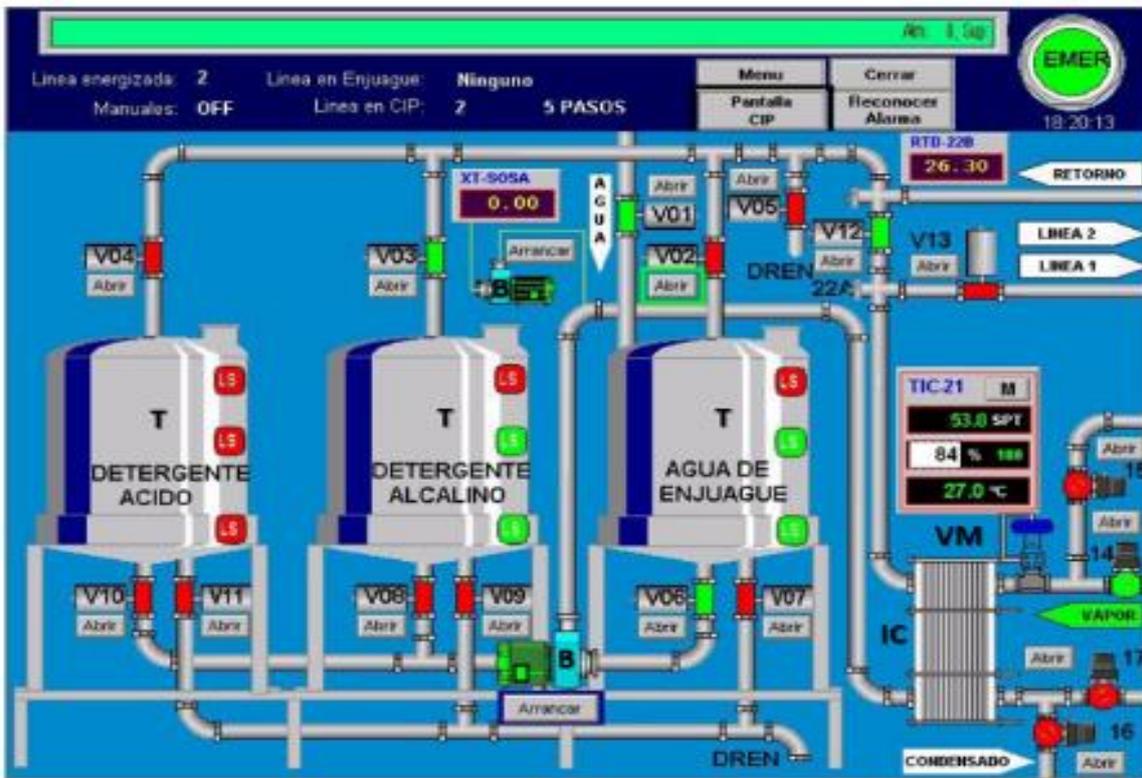


Figura 04: Sistema SCADA

Fuente: (Perez, 2015)

Donde:

- T: Tanque de almacenamiento
- B: Bomba para agua
- V: Válvula neumática
- LS: Sensores de nivel
- IC: Intercambiador de calor
- VM: Válvula moduladora

En la figura 4, se observa la representación del sistema SCADA para el control de los procesos industriales en tiempo real, logrando realizar un monitoreo más ordenado y eficiente. Con la ayuda de este sistema se puede realizar un trabajo automático y manual en los procesos, como también da la facilidad de modificar las variables en el sistema siempre y cuando sea necesario. Existen niveles de

usuarios permitiendo un mejor control en la manipulación del proceso y el sistema, contando con los siguientes niveles:

- Operario, puede monitorear y realizar un trabajo manual de los componentes.
- Técnico, permite la manipulación manual de los componentes y el cambio de variables en el sistema.
- Supervisor, tiene el acceso a todo el sistema, incluso a visualizar que usuario realizó algún tipo de cambios.

A continuación, se explicará la metodología de selección de equipos la cual va a ser aplicada en la presente tesis, de tal forma será utilizada en el segundo objetivo donde se realizará la selección de los equipos eléctricos basándose en la teoría del diseño paramétrico. Según Rudolph (2010), esta metodología consiste en una serie de etapas, mostrando un orden consecutivo donde en el cual se llegará a la selección del equipo correcto a usar, en la figura 05 se muestra el diagrama de flujo de las etapas de selección de equipos utilizando el diseño paramétrico.

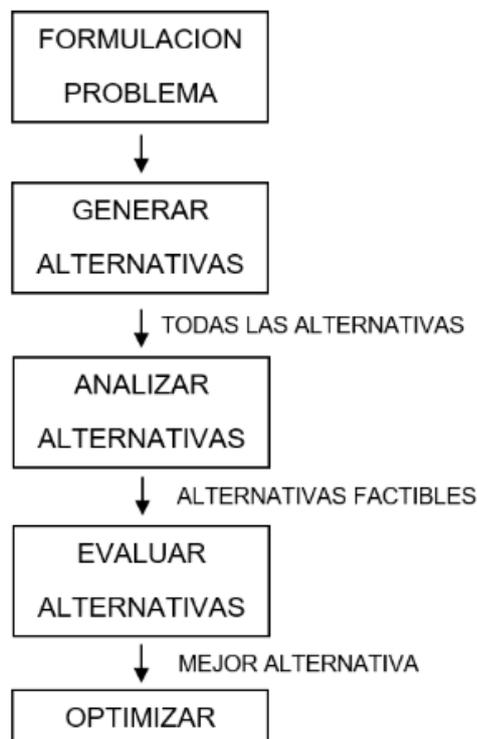


Figura 05: Diagrama de flujo para la selección de equipos

Fuente: (Rudolph, 2010)

Prosiguiendo con la metodología de diseño paramétrico, la definición de las etapas mencionadas en la figura 05 es:

- Formulación, cuando se comienza con un problema de diseño paramétrico, se necesita familiarizarse con los parámetros del problema y también planificar las formas de completar el diseño, podría ser un problema para cada tipo de selección o un problema general aplicándose en toda la selección de equipos.
- Generar, se selecciona diferentes valores para las variables de diseño para generar diferentes opciones, estos pueden provenir de nuestra propia experiencia, experiencia de la empresa o de los estándares de la industria.
- Analizar, se procede mediante métodos analíticos, como formulas de la física, matemáticas y la ciencia de la ingeniería, como también se puede utilizar métodos experimentales, por otro lado, también se pueden añadir graficas de satisfacción en los puntos considerados en la matriz de selección.
- Evaluar, una vez analizadas las factibles propuestas se evalúa para determinar la mejor opción, por lo general se identifican uno o más criterios en la fase de formulación siendo utilizada para determinar la mejor alternativa de diseño factible.
- Optimizar, una vez realizadas las etapas anteriores, las propuestas generadas automáticamente generan nuevos valores en las variables de diseño para mejorar el rendimiento y la satisfacción esperadas. Para la optimización de un solo atributo siempre se elige un solo criterio.

Para resolver las etapas se puede basar con los conocimientos adquiridos por la experiencia o también se puede guiar por catálogos o revistas de los fabricantes (Balboa Elizalde, 2020). Una vez realizada la secuencia de las etapas mencionadas anteriormente ya se podría tener como resultado el equipo apropiado en el desarrollo de la presente tesis con una mayor fiabilidad que llegaría a satisfacer las necesidades del cliente.

El 80% de la energía consumida en el sector industrial, es por parte de los motores eléctricos. Sabiendo que son de uso muy común en las maquinas electromecánicas, su funcionamiento en lo general, se basa en las propiedades electromagnéticas de la corriente alterna, con la posibilidad de la generación de un campo magnético giratorio, induciendo un movimiento de rotación. Existiendo diferentes tipos de motores eléctricos, ya que en las industrias los más usados son los motores de inducción conocidos como jaula de ardilla y los servomotores que en la actualiza son muy utilizados en las máquinas modernas sumamente automatizadas (Quispe, 2003) (Sew, 2006).

Los Motores de inducción (jaula de ardilla), estos motores suelen ser de corriente alterna pudiendo encontrarlos a un bajo costo con un diseño muy sencillo, brindando un buen rendimiento en el trabajo, también cuentan con la facilidad de realizarle un nuevo rebobinado en su estator cada vez que sufra alguna anomalía en su campo magnético y perjudique su aislamiento, casi siempre suelen trabajar con un reductor de velocidad ya que así llegan a obtener mayor fuerza (Quispe, 2003).

Para poder realizar la selección de un motorreductor, se tiene que saber cuál es el torque necesario para el trabajo que va a realizar, por lo tanto, se utiliza la siguiente ecuación para hallar el torque de los motorreductores.

$$T_c = W * \frac{L}{2} + Fr * L$$

Ecuación N° 01: Torque con carga

Fuente: (Sew, 2006)

Donde:

Tc = Torque con carga

W = Peso

L = Longitud

Fr = Fricción

La figura 06, nos muestra el despiece de un motor asíncrono.

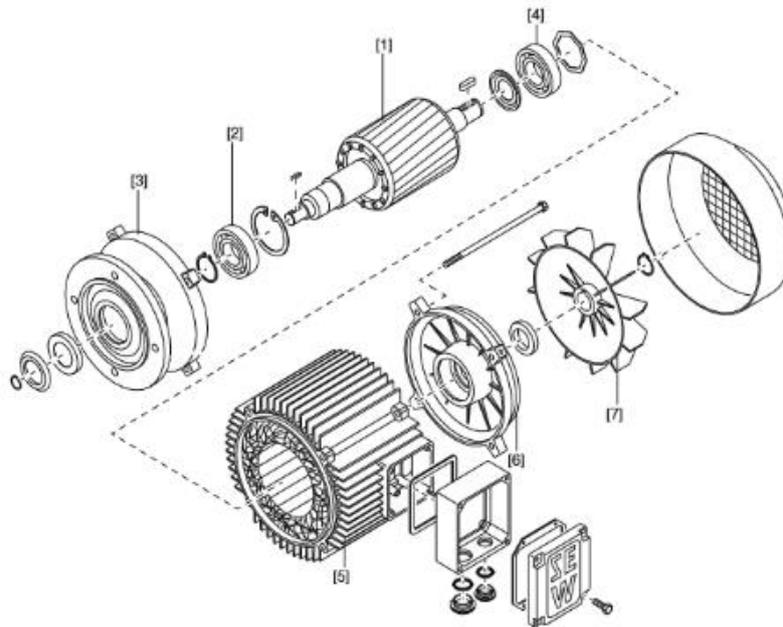


Figura 06: Diseño del motor asíncrono

Fuente: (Quispe, 2003)

Dónde:

- | | |
|----------------------------|-----------------|
| 1. Rotor | 5. Estator |
| 2. Rodamiento ranurado | 6. Escudo final |
| 3. Escudo final con bridas | 7. Ventilador |
| 4. Rodamiento ranurado | |

Los servomotores, son la evolución de los motores eléctricos también siendo utilizados con corriente alterna, este tipo de motores suelen tener un precio elevado por las características que suelen contar, realizando trabajos a una precisión muy exactas ya que cuentan con un encoder electrónico que le facilita su posicionamiento y un rotor imantado. Este tipo de motores pueden trabajar a temperaturas altas sin verse afectado su funcionamiento, su tiempo de vida es único ya que no se puede volver a rebobinar por contar con un bobinado especial y un diseño muy peculiar (Sew, 2006).

La figura 07, nos muestra el despiece de un servomotor.

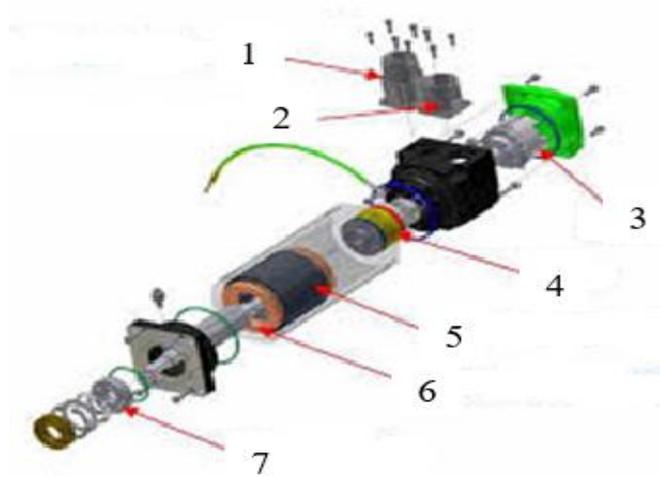


Figura 07: Diseño de un servomotor

Fuente: (Sew, 2006)

Dónde:

- | | |
|---------------------------|-----------------------------|
| 1. Conector de potencia | 5. Bobinados del estator |
| 2. Conector señal encoder | 6. Rotor imanes permanentes |
| 3. Encoder | 7. Acoplamiento |
| 4. Freno | |

Los encoder ópticos incrementales, son utilizados para determinar las posiciones de los motores eléctricos, transformando un movimiento angular en impulsos digitales. Los impulsos generados son utilizados para determinar una posición o repetición del trabajo realizada por un motor, las señales eléctricas de rotación son elaboradas mediante controles numéricos y contadores lógicos programables (PLC). Estos dispositivos electrónicos se presentan en ondas selenoidales y ondas cuadradas, con un desfase entre sí de 90° (Sew, 2011) (Rairan, 2013).

La figura 08, nos muestra la parte interna de un encoder.

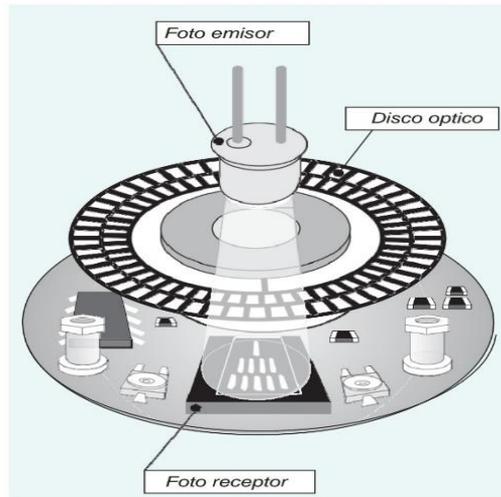


Figura 08: Encoder incremental

Fuente: (Rairan, 2013)

El tipo de encoder mostrado en la figura 08 cuenta con un disco óptico agujereado como se muestra en la imagen, el cual tiende a girar junto con el rotor y por medio del emisor brindan una señal analógica la cual es convertida en forma numérica en el PCL, de esa forma verifica la posición de los sistemas mecánicos.

La figura 09, nos muestra la forma correcta de acoplar un encoder en el motor de inducción.



Figura 09: Acoplamiento del encoder en un motor

Fuente: (Sew, 2011)

En la figura 09, se puede observar cómo se debería de acoplar el encoder al rotor, así podríamos obtener la información requerida, cabe mencionar que la parte estática del encoder tiene que estar bien sujeta, ya que de esa forma evitaremos obtener una alteración de pulsos.

Los variadores de velocidad, son equipos electrónicos con capacidad de controlar los procesos y generar un ahorro de energía, dicho equipo permite variar la velocidad de los motores eléctricos, brindan una mayor seguridad ante cualquier anomalía que se presente en el motor, también tienden a entregar un voltaje y corriente controlada al equipo que lo esté usando con la intención de protegerlo. Debido al avance de los motores eléctricos, este tipo de controladores también va avanzando a pasos agigantados, con la intención de ofrecer un tipo de variador a cada motor que lo requiera con las características necesarias para su funcionamiento (Villacis, 2011) (Sew, 2006). Entre las diversas ventajas de los procesos, estas son las más destacadas de los variadores:

- Control de aceleración y desaceleración.
- Operaciones más lentas.
- Distintas velocidades en cada fase de un proceso.
- Compensación de variables en los procesos.
- Permite operaciones lentas para tipos de regulación.
- Permite un posicionamiento muy preciso.
- Control del par motor (Torque).

Para la selección de un variador de velocidad se tiene que tener en cuenta la potencia nominal del motor al cual va a comandar añadiéndole un 20% más, a continuación, se mostrara la siguiente ecuación:

$$P_{\text{variador}} = P_{\text{motor}} * 1.2$$

Ecuación N° 02: Potencia del variador

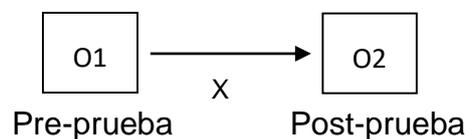
Fuente: (Sew, 2006)

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y Diseño de Investigación

Este tipo de investigación es aplicada. Dado que se centra en resolver uno o varios problemas específicos (Lozada, 2014).

El presente trabajo de investigación es de diseño pre-experimental, dado que analiza la influencia de la variable independiente en la dependiente, llegando a determinar si el estudio puede llegar a ser factible y realizable (Abreu, 2012).



O1, O2: Observación de la disponibilidad de las máquinas en su estado inicial (medición pre prueba) y estado final (medición post prueba)

X: Estímulo, diseño eléctrico

3.2. Variables y Operacionalización

3.2.1. Variable Independiente

Diseño eléctrico para la sincronización automática.

3.2.2. Variable Dependiente

Efectividad de la máquina

3.2.3. Operacionalización de Variable Independiente

Tabla 01: Operacionalización de la variable independiente

VARIABLE	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	INDICADOR	MEDICION
Sincronización automatizada de carga y descarga de lavado de botellas de diferentes formatos	Este Sistema está basado en realizar la sincronización automática de los sistemas mecánicos, interactuando de forma indirecta con motores eléctricos y encoders electrónicos a través de un interfaz máquina – hombre (HMI) eliminando la intervención manual de los maquinistas en dicho sistema (Ocampo, 2009).	El operario deberá cargar la receta a producir de su panel de control, de tal manera que la máquina realizará de forma automática su sincronización.	Tiempo en los cambios de formato.	Horas
			Paradas no programadas.	Horas

3.2.4. Operacionalización de Variables Dependientes

Tabla 02: Operacionalización de la variable dependiente

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	INDICADOR	MEDICION
Efectividad de la máquina Hidrojet – Línea 2	Es la probabilidad de que los equipos estén listos y operativos para su uso según las órdenes de producción, teniendo en cuenta el formato a producir (Ramirez, 2018).	Es el tiempo ya definido donde el operario debe realizar la regulación de ambos sistemas, este tiempo empieza desde el fin de un formato hasta el inicio de otro formato que se va a producir.	Disponibilidad	$D = \frac{T.P.P. - T.I.}{T.P.P.}$
			Rendimiento	$\eta = \frac{T.C.I. \times T.Env.}{T.Ejec.}$
			Calidad	$C = \frac{PB}{PR}$

3.3. Población, muestra y muestreo

3.3.1. Población

Máquina Hidrojet.

3.3.2. Muestra

Se tomó como muestra una máquina HIDROJET Kronos modelo K672047, que se encuentra ubicada en una empresa embotelladora de bebidas gasificadas en la ciudad de Trujillo.

3.3.3. Muestreo

Aleatorio

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

A continuación, se muestra la tabla 3 donde se puede observar las técnicas e instrumentos de recolección de datos que se van a utilizar en el presente trabajo.

Tabla 03: Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Técnicas	Instrumentos
Observación directa	Ficha de observación
Análisis documental	Ficha de registro
Página de SEW	Laptop e internet
Simatic 7	Laptop de programación

3.5. Procedimientos

En la siguiente figura 10 se puede observar un diagrama donde se explica detalladamente los pasos que se van a seguir para el desarrollo de la presente tesis.

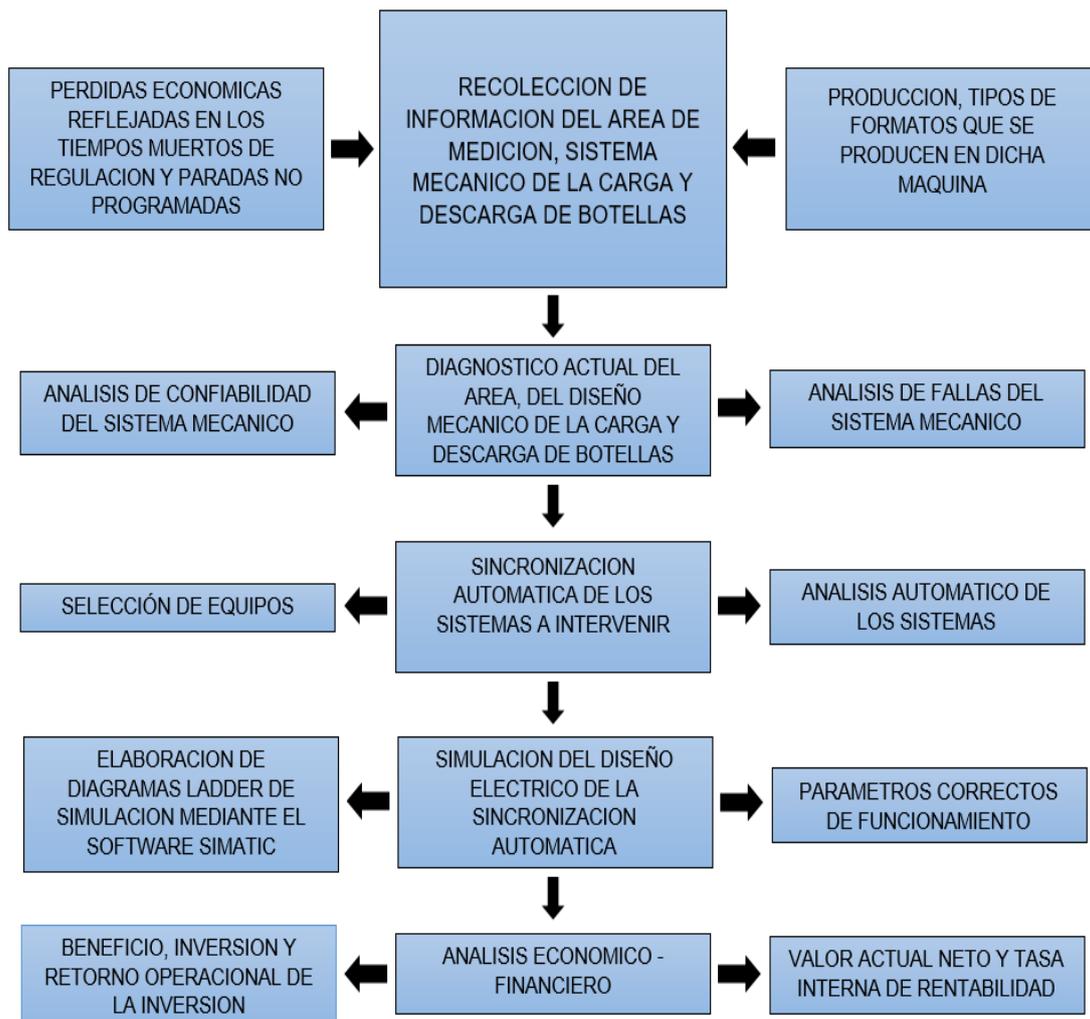


Figura 10: Diagrama de flujo del procedimiento de la investigación

Fuente: Elaborado por el autor

3.6. Método de análisis de datos

Para tener un correcto procesamiento en la recolección de datos, se utilizó el software de Excel 2016 para la creación y tabulación de las tablas de frecuencias, así mismo también se utilizaron hojas de cálculo para el análisis económico. Para la programación de la sincronización automática del sistema mecánico de la carga y descarga de botellas se utilizó el software SIMATIC 7.

3.7. Aspectos éticos

La propuesta del diseño eléctrico para la sincronización automática del sistema mecánico en la carga y descarga de botellas de una Hidrojet, por lo tanto, llegando a respetar la originalidad de dicha investigación y garantizando el 100% de la información contenida en la vigente investigación. La presente tesis no brinda el nombre de la empresa a la cual pertenece la máquina hidrojet, ya que la empresa no brindo la autorización que se publique su nombre.

IV. RESULTADOS

4.1. Diagnóstico actual de la máquina e identificación de su disponibilidad

4.1.1. Máquina Hidrojet

La máquina Hidrojet modelo K672047, fue diseñada y fabricada por la empresa Alemana KRONES la cual se dedica al diseño, fabricación y montaje de diversos tipos de máquinas electromecánicas industriales, en la actualidad dicha empresa viene ocupando el primer lugar a nivel mundial en el rubro de envasado de bebidas, por lo cual cuenta con una tecnología muy moderna. Esta máquina su función es lavar y desinfectar los envases retornables.

A continuación, en la figura 11 se muestran los procesos que se realizan en la máquina Hidrojet para obtener un envase limpio y estéril, para poder ser envasado y tapado.

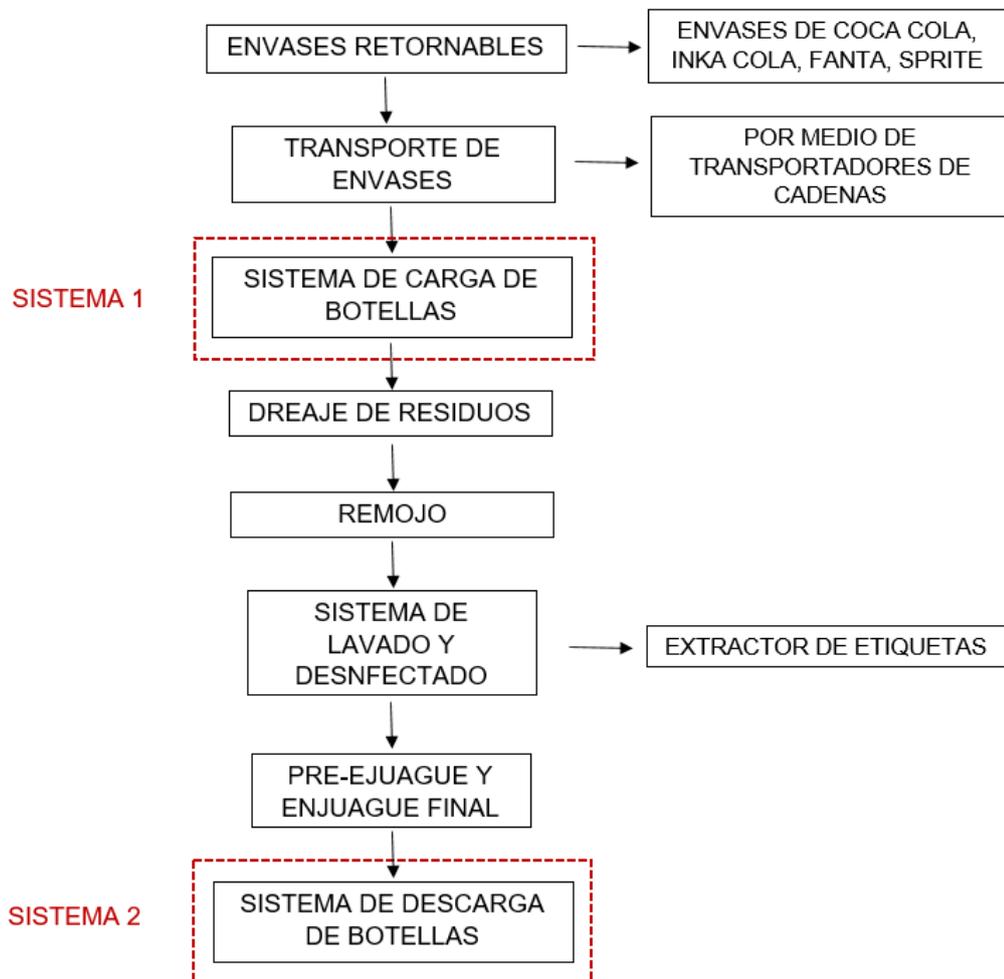


Figura 11: Diagrama de flujo del proceso de lavado y desinfectado de envases

Fuente: Propia

La máquina hidrojet está compuesta por diferentes procesos, estando de una forma ordenada y consecutiva como muestra la figura 11, a continuación, se describirá cada proceso en forma ordenada siguiendo el mismo orden del diagrama de flujo creado anteriormente.

4.1.2. Sistemas de carga de botellas

En la figura 12 podemos visualizar como son impulsadas las botellas por medio de las uñas, siendo alimentadas por una cinta transportadora, distribuyéndose por acumulación a diversos compartimientos, al final de los compartimientos se colocan en posición inclinada hacia las guías de la mesa de introducción, encontrándose encima de la rendija formada por dos cadenas continuas de la distribución por acumulación. Las uñas rotativas toman las botellas a través de esta rendija y las empujan atravesando la mesa de introducción en posición casi horizontal hacia dentro del portador de botellas. El desarrollo funcional de las uñas está compuesto por su movimiento rotativo y el movimiento giratorio superpuesto del árbol de uñas.

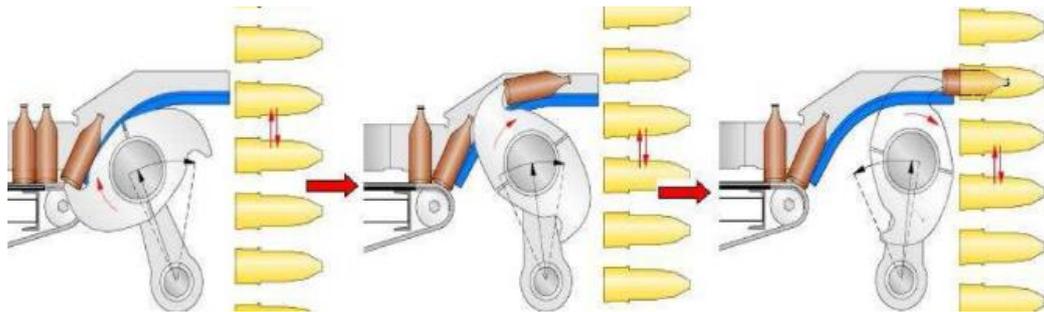


Figura 12: Carga de botellas

Fuente: (Paucar, 2014)

4.1.3. Drenaje de residuos

La máquina cuenta con un sistema de descarga de residuos como líquido, sorbetes o cuerpos extraños que pueden encontrarse dentro del envase, por la misma gravedad esos residuos suelen caer del envase mientras esta va avanzando al tanque de remojo. Como principal objetivo de este sistema es eliminar la contaminación del tanque de lavado y desinfectado. A continuación, la figura 13 nos muestra en el punto 1 como tienden a caer por la misma gravedad los residuos que se encuentran dentro del envase, en el punto 2 la botella es pasada por un pequeño depósito de desmugre de la parte externa del envase, los puntos 3, 4 y 5 nos muestra el sistema de duchas las cuales se encargan de limpiar la parte externa del envase con el fin de evitar la contaminación del tanque de remojo.

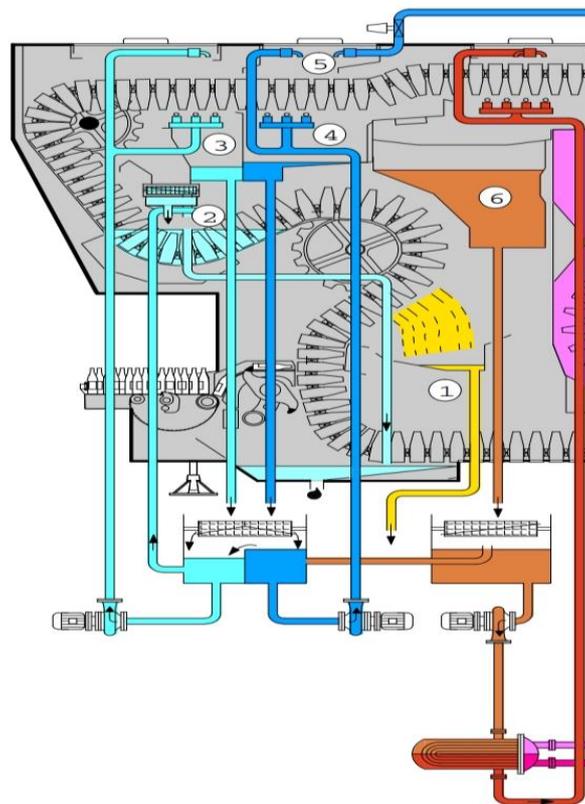


Figura 13: Drenaje de residuos

Fuente: (Krones, 2000)

4.1.4. Remojo

El objetivo de este proceso es retirar los residuos sólidos adhesivos en los envases, ya que cuenta con agua a una temperatura de 35°C evitando la rotura de los envases por el cambio brusco de temperatura ya que los siguientes tanques se encuentran a una temperatura más elevada, también se minimiza la contaminación de la soda y aditivos que se encuentran en los tanques de lavado y desinfectado. En la siguiente figura 14 en el punto 7 nos muestra el recorrido que realizan los bolsillos porta botellas dentro del tanque de remojo.

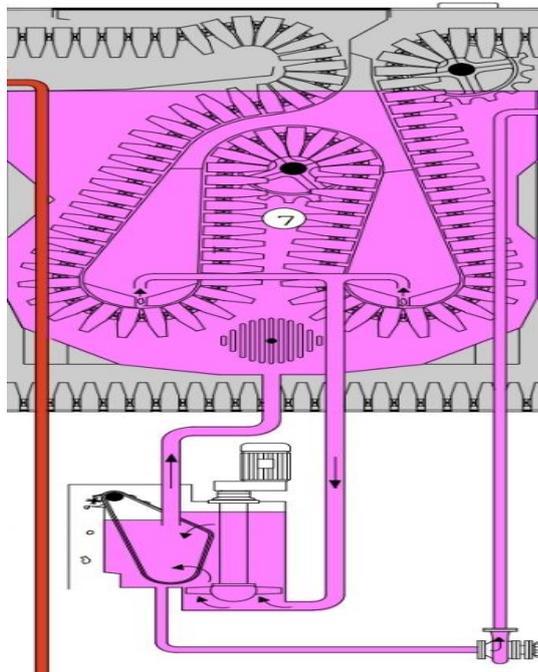


Figura 14: Tanque de remojo

Fuente: (Krones, 2000)

4.1.5. Lavado y desinfectado

Las botellas son ingresadas a estos 2 tanques de lavado donde poseen una mezcla de agua con soda cáustica y aditivos a una temperatura de 85°C, de tal manera que remueven todos los residuos de mugre y bebida remanentes de contaminación microbiológica dentro de las botellas. En la siguiente figura se podrá observar la parte interna del tanque donde se realiza el proceso de lavado y desinfectado de envases. En la siguiente figura 15 en el punto 8 y 9 nos muestra el recorrido que realizan los bolsillos porta botellas dentro de los tanques de lavado y desinfectado.

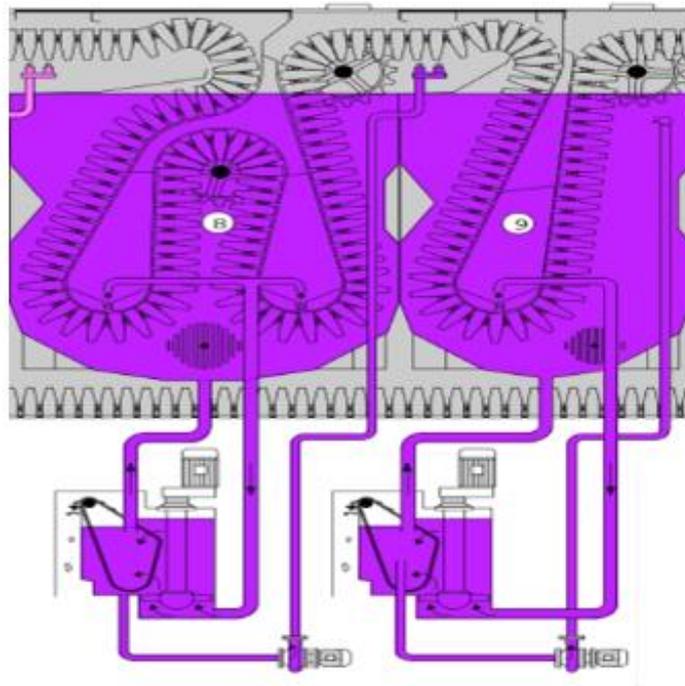


Figura 15: Tanques de lavado y desinfectado

Fuente: (Krones, 2000)

4.1.6. Pre enjuague y enjuague final

Una vez que los envases salen de los tanques de lavado y desinfectado pasan por el tanque de pre enjuague donde son remojados con agua a una temperatura de 30°C, el fin de este proceso es retirar la mugre que se encuentra desprendiéndose y enfriar los envases antes de su salida, luego de pasar por el tanque de pre enjuague los envases son sometidos a una serie de duchas roseándolos por la parte interna y externa con agua, este proceso ayuda a retirar los residuos de soda que se encuentran en la superficie del vidrio.

El primer enjuague es realizado con agua recirculada, el segundo con agua recuperada y el ultimo enjuague es realizado con agua fresca con el fin de retirar las ultimas huellas de soda, todos estos roseados que se realizan por medio de duchas son realizados a una presión de 26 – 38 psi.

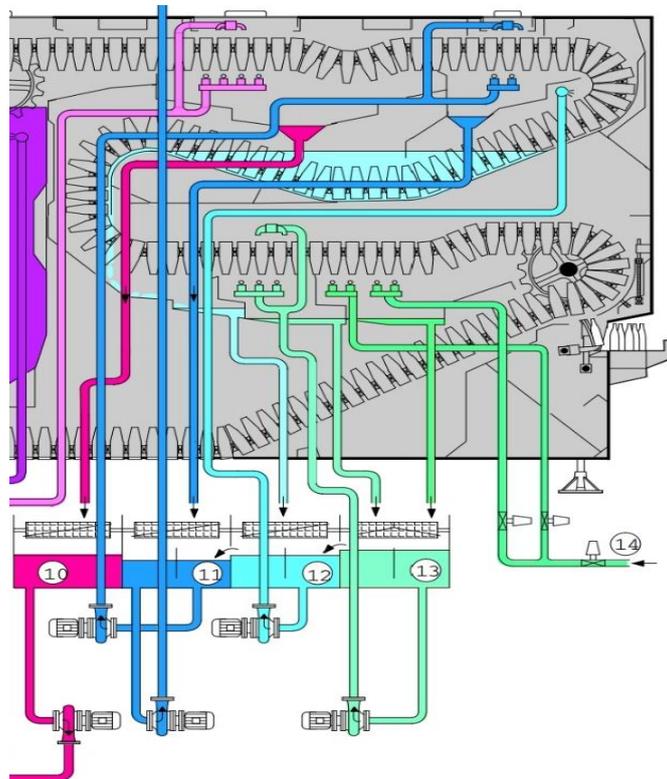


Figura 16: Tanque de pre enjuague y duchas de enjuague final

Fuente: (Krones, 2000)

4.1.7. Sistema de descarga de botellas

En la siguiente figura 17 podemos visualizar el mecanismo de la descarga de botellas completamente limpias y atemperadas, siendo descargadas suavemente hacia el transportador de salida, la descarga de botellas se realiza de forma parecida a la carga, siendo por medios giratorios a una velocidad constante, las botellas limpias tienden a deslizarse sin caer a través de un elemento de transferencia sincrónico siendo recibidas los elementos giratorios para luego ser entregadas al transporte de salida.

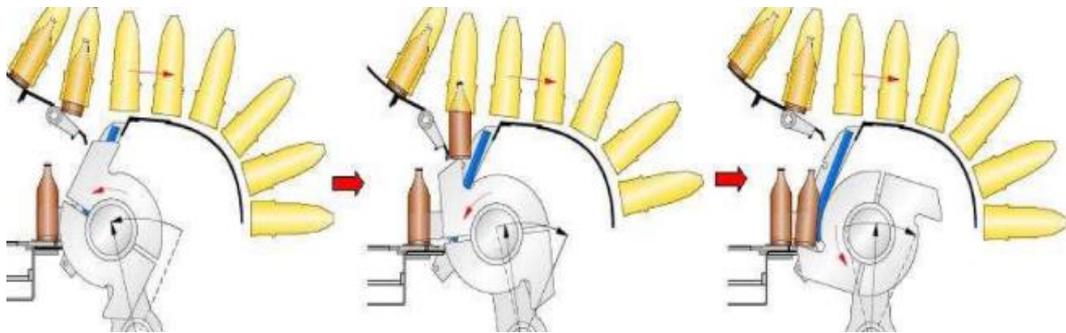


Figura 17: Descarga de botellas

Fuente: (Paucar, 2014)

4.1.8. Indicador overall equipment effectiveness

Este indicador conocido como OEE mide la eficacia de las máquinas industriales y está conformado por la disponibilidad, rendimiento y calidad, para sacar el cálculo de dicho indicador se tomarán de muestra la producción total de 2 meses de la máquina estando dividida por día de producción. A continuación, se puede observar las ecuaciones que aplican para los 3 indicadores que conforman el OEE (Algarra, 2018).

$$\text{Disponibilidad} = \frac{\text{Tiempo de producción planificado} - \text{Tiempo de inactividad}}{\text{Tiempo de producción planificado}} \times 100\%$$

Ecuación N° 03: Disponibilidad

Fuente: (Mohamed Ben-Daya, 2016)

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Tiempo de ciclo ideal} \times \text{Total de envases}}{\text{Tiempo de ejecución}} \times 100\%$$

Ecuación N° 04: Rendimiento

Fuente: (Mohamed Ben-Daya, 2016)

$$\text{Calidad} = \frac{\text{Piezas buenas}}{\text{Producción real}} \times 100\%$$

Ecuación N° 05: Calidad

Fuente: (Mohamed Ben-Daya, 2016)

$$\text{Efectividad} = \% \text{Disponibilidad} \times \% \text{Rendimiento} \times \% \text{Calidad}$$

Ecuación N° 06: Efectividad

Fuente: (Mohamed Ben-Daya, 2016)

$$\text{Promedio ponderado} = \frac{\sum \text{producto} \times \text{Masa}}{\text{Masa total}} \times 100\%$$

Ecuación N° 07: Promedio ponderado

4.1.8.1. Detalle de producción

En la empresa donde se encuentra ubicada la máquina hidrojet tiene como meta una disponibilidad del equipo de 85%, rendimiento de 95% y su calidad debe de ser de 99.9% ya que por ser una empresa de clase mundial tiene que contar con una calidad alta.

Se puede observar en las tablas 04 y 05 de los meses de agosto y setiembre no se llegó a producir todos los días del mes, siendo así estos meses de temporada baja, las cuales detallan su eficiencia y tiempos de producción por día producido.

Tabla 04: Resumen de producción del mes de agosto

Fuente: Planta embotelladora

FECHA	TIEMPO DE PRODUCCIÓN (min)	TIEMPO DE REGULACIÓN (min)	PARADA NO PROGRAMADA (min)	ENVASES BUENOS	MERMA DE ENVASES	FORMATO
01/08/2020	Mantenimiento Preventivo					
03/08/2020	673	90	90	444310	890	IK 192 ml
04/08/2020	672	90	80	443910	890	CC 1000 ml
05/08/2020	221	90	170	136127	273	CC 400 ml
06/08/2020	654	90	60	420757	843	IK 296 ml
07/08/2020	449	90	20	291017	583	IK 625 ml
08/08/2020	Mantenimiento Preventivo					
10/08/2020	612	90	270	403990	810	IK 400 ml
11/08/2020	845	90	70	560876	1124	IK 1000 ml
12/08/2020	668	90	110	442314	886	CC 192 ml
13/08/2020	720	90	75	479040	960	CC 296 ml
14/08/2020	515	90	55	333332	668	CC 625 ml
15/08/2020	Mantenimiento Preventivo					
17/08/2020	371	90	230	243911	489	CC 1000 ml
18/08/2020	363	90	100	240718	482	FN 192 ml
19/08/2020	349	90	70	219161	439	FN 400 ml
20/08/2020	320	90	50	207584	416	FN 296 ml
21/08/2020	494	90	100	324949	651	IK 625 ml
22/08/2020	Mantenimiento Preventivo					
24/08/2020	192	90	130	124550	250	SP 400 ml
25/08/2020	636	90	60	413571	829	IK 1000 ml
26/08/2020	812	90	100	531734	1066	SP 192 ml
27/08/2020	452	90	75	411974	826	SP 296 ml
28/08/2020	434	90	40	285029	571	CC 625 ml
29/08/2020	346	90	83	217963	437	CC 192 ml
31/08/2020	601	90	40	399599	801	CC 296 ml

Tabla 05: Resumen de producción del mes de setiembre

Fuente: Planta embotelladora

FECHA	TIEMPO DE PRODUCCIÓN (min)	TIEMPO DE REGULACIÓN (min)	PARADA NO PROGRAMADA (min)	ENVASES BUENOS	MERMA DE ENVASES	FORMATO
01/09/2020	798	90	50	526146	1054	IK 1000 ml
02/09/2020	655	90	80	421156	844	IK 400 ml
03/09/2020	351	90	10	219959	441	IK 192 ml
04/09/2020	438	90	30	286626	574	IK 296 ml
05/09/2020	386	90	55	249899	501	CC 625 ml
07/09/2020	Mantenimiento Preventivo					
08/09/2020	540	90	100	359280	720	CC 400 ml
09/09/2020	420	90	115	279440	560	CC 625 ml
10/09/2020	332	90	130	212374	426	CC 296 ml
11/09/2020	711	90	90	459479	921	CC 192 ml
12/09/2020	572	90	40	372054	746	CC 1000 ml
14/09/2020	651	90	150	419559	841	IK 625 ml
15/09/2020	Mantenimiento Preventivo					
16/09/2020	778	90	85	502194	1006	SP 400 ml
17/09/2020	180	90	40	119760	240	SP 192 ml
18/09/2020	362	90	56	247504	496	FN 296 ml
19/09/2020	515	90	160	333332	668	IK 1000 ml
21/09/2020	150	90	70	91816	184	IK 625 ml
22/09/2020	Mantenimiento Preventivo					
23/09/2020	540	90	130	359280	720	SP 296 ml
24/09/2020	444	90	100	289021	579	CC 625 ml
25/09/2020	258	90	57	166866	334	FN 400 ml
26/09/2020	300	90	39	199600	400	CC 1000 ml
28/09/2020	711	90	139	459479	921	FN 192 ml
29/09/2020	764	90	10	496605	995	IK 296 ml
30/09/2020	Mantenimiento Preventivo					

4.1.8.2. Cálculo de indicadores por día producido del mes de agosto

En el siguiente cálculo se utilizaron las Ecuaciones 03, 04, 05 y 06 que corresponden a los indicadores de disponibilidad, rendimiento, calidad y efectividad. Por lo cual se están considerando los turnos a los cuales se realizó la producción tomando un tiempo de 480 min por turno, con un tiempo de producción planificado de acuerdo a la cantidad de minutos que se realizó la producción sabiendo que por día existen 3 turnos, la empresa no realiza una parada de línea en el proceso de producción para el refrigerio, por lo mismo que entre maquinistas se cubren a la hora del refrigerio. A continuación, se detallará como se calculan los indicadores ya mencionados del primer día de producción del mes de agosto, luego se presentará una tabla resumen brindando los resultados por día de todo el mes.

- **OEE del día 03/08/2020**

$$\text{Disponibilidad} = \frac{960 - 180}{960} \times 100\% = 81.25 \%$$

$$\text{Rendimiento} = \frac{0.0015 \times 445200}{780} \times 100\% = 85.62 \%$$

$$\text{Calidad} = \frac{444310}{445200} \times 100\% = 99.8 \%$$

$$\text{Efectividad} = (0.8125 \times 0.8562 \times 0.998) 100\% = 69.42 \%$$

- A continuación, en la tabla 06 se podrá observar el porcentaje de cada indicador de forma diaria de todo el mes de agosto, lo cual se calcularon conforme el detalle del ejercicio anterior que pertenece al día 03 de agosto del presente año.

Tabla 06: Porcentaje diario de los indicadores correspondiente al mes de agosto

Fuente: Propia

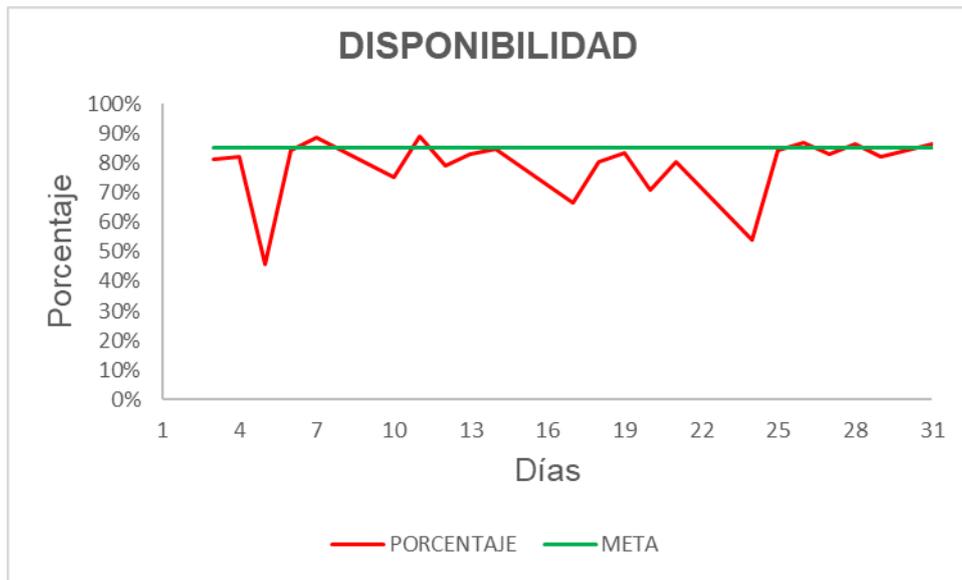
FECHA	DISPONIBILIDAD	RENDIMIENTO	CALIDAD	EFFECTIVIDAD
03/08/2020	81.25%	85.62%	99.80%	69.42%
04/08/2020	82.29%	84.46%	99.80%	69.36%
05/08/2020	45.83%	93.00%	99.80%	42.54%
06/08/2020	84.38%	78.07%	99.80%	65.74%
07/08/2020	88.54%	51.46%	99.80%	45.47%
10/08/2020	75.00%	56.22%	99.80%	42.08%
11/08/2020	88.89%	65.86%	99.80%	58.42%
12/08/2020	79.17%	87.47%	99.80%	69.11%
13/08/2020	82.81%	90.57%	99.80%	74.85%
14/08/2020	84.90%	61.47%	99.80%	52.08%
17/08/2020	66.67%	57.28%	99.80%	38.11%
18/08/2020	80.21%	46.99%	99.80%	37.61%
19/08/2020	83.33%	41.18%	99.80%	34.24%
20/08/2020	70.83%	91.76%	99.80%	64.87%
21/08/2020	80.21%	63.43%	99.80%	50.77%
24/08/2020	54.17%	72.00%	99.80%	38.92%
25/08/2020	84.38%	76.74%	99.80%	64.62%
26/08/2020	86.81%	63.94%	99.80%	55.39%
27/08/2020	82.81%	77.89%	99.80%	64.37%
28/08/2020	86.46%	51.61%	99.80%	44.54%
29/08/2020	81.98%	41.63%	99.80%	34.06%
31/08/2020	86.46%	72.36%	99.80%	62.44%

4.1.8.3. Resultados diarios del mes de agosto

A continuación, se mostrarán los gráficos de los 4 indicadores calculados anteriormente del mes de agosto.

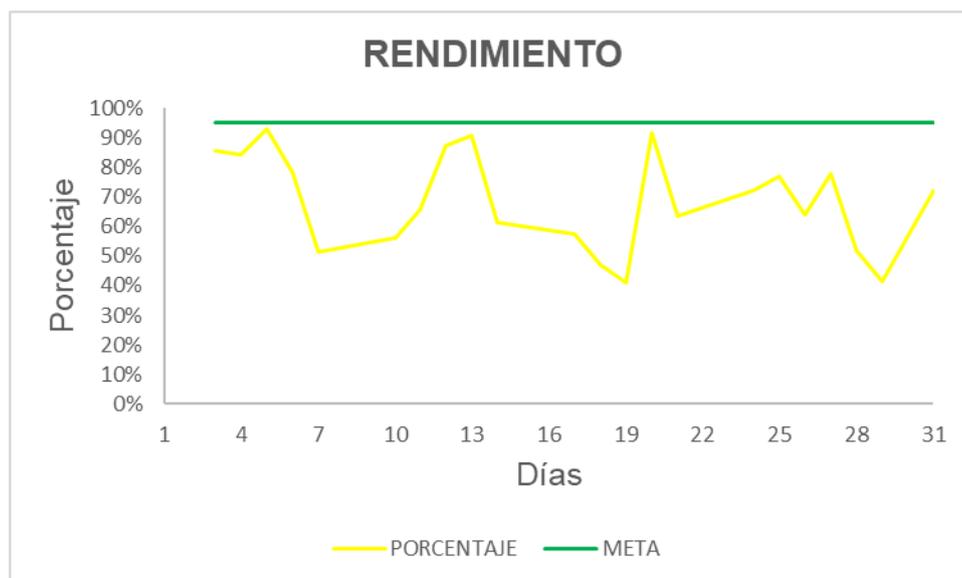
- En el siguiente gráfico 01 se puede visualizar como varía el porcentaje de la disponibilidad diaria de la máquina, no llegando a cumplir con la meta de 85% siendo planteada por la fábrica.

Grafico N° 01: Porcentaje diario de la disponibilidad del mes de agosto



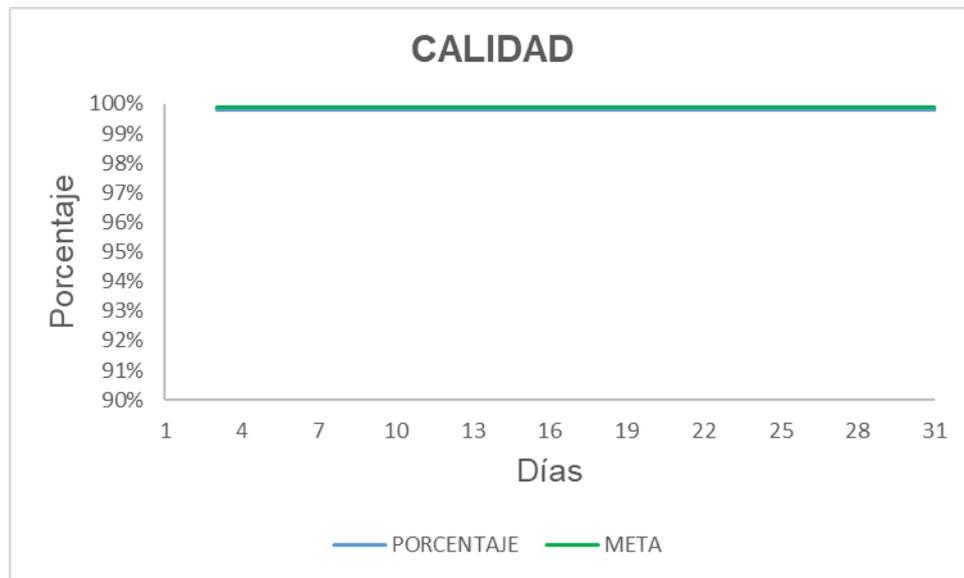
- En el siguiente gráfico 02 se puede visualizar como varía el porcentaje del rendimiento diario de la máquina, no llegando a cumplir con la meta de 95% siendo planteada por la fábrica.

Grafico N° 02: Porcentaje diario del rendimiento del mes de agosto



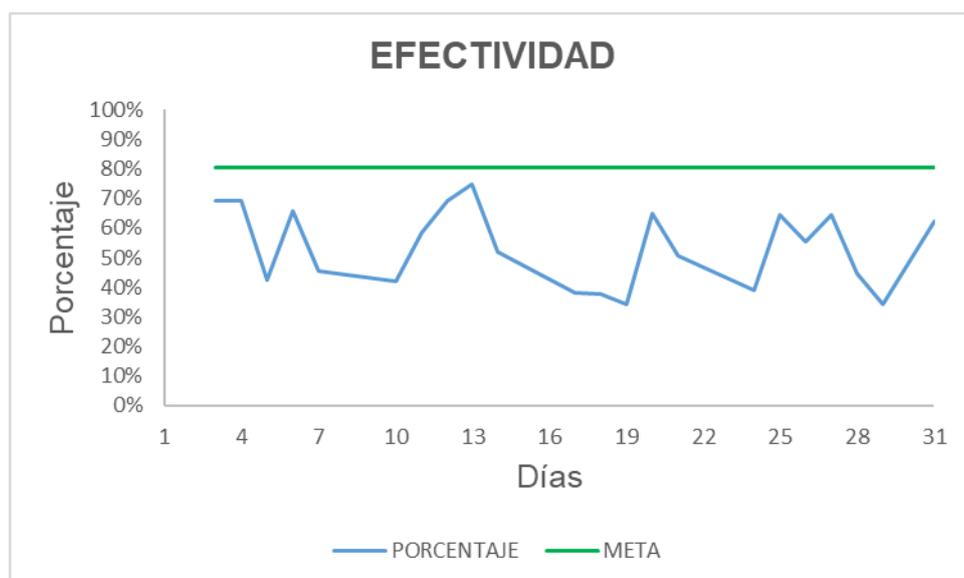
- En el siguiente gráfico 03 se puede visualizar como se mantiene constante el porcentaje de la calidad diario de la máquina llegando a 99.8%, lo cual se aproxima a la meta de 99.9% siendo planteada por la fábrica.

Grafico N° 03: Porcentaje diario de la calidad del mes de agosto



- En el siguiente gráfico 04 se puede visualizar como varía el porcentaje de la efectividad diaria de la máquina, no llegando a cumplir con la meta de 80.67% siendo planteada por la fábrica.

Grafico N° 04: Porcentaje diario de la efectividad del mes de agosto



4.1.8.4. Promedio ponderado de agosto

A continuación, se puede visualizar las siguientes tablas 07 y 08 que se encuentran con su respectivo gráfico 05 y 06, pudiendo observar el promedio ponderado de la disponibilidad y rendimiento total de la máquina del mes de agosto, se tomaron estos dos indicadores ya que su porcentaje es muy bajo al requerido por la empresa. para hallar este resultado se utilizó la Ecuación 07 mencionada en la pág. 34.

Tabla 07: Promedio ponderado de la disponibilidad del mes de agosto

Fuente: Propia

DISPONIBILIDAD				
DIA	PORCENTAJE	ENVASES	PORCENTAJE PONDERADO	META
3	81.25%	444310		
4	82.29%	443910		
5	45.83%	136127		
6	84.38%	420757		
7	88.54%	291017		
10	75.00%	403990		
11	88.89%	560876		
12	79.17%	442314		
13	82.81%	479040		
14	84.90%	333332		
17	66.67%	243911		
18	80.21%	240718	81.42%	85.00%
19	83.33%	219161		
20	70.83%	207584		
21	80.21%	324949		
24	54.17%	124550		
25	84.38%	413571		
26	86.81%	531734		
27	82.81%	411974		
28	86.46%	285029		
29	81.98%	217963		
31	86.46%	399599		

Grafico N° 05: Porcentaje ponderado de la disponibilidad del mes de agosto

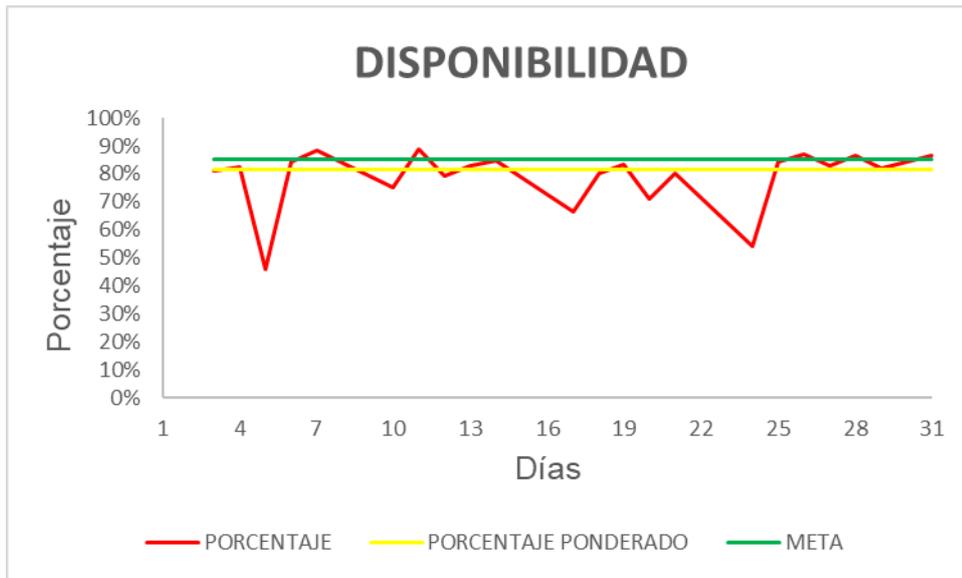
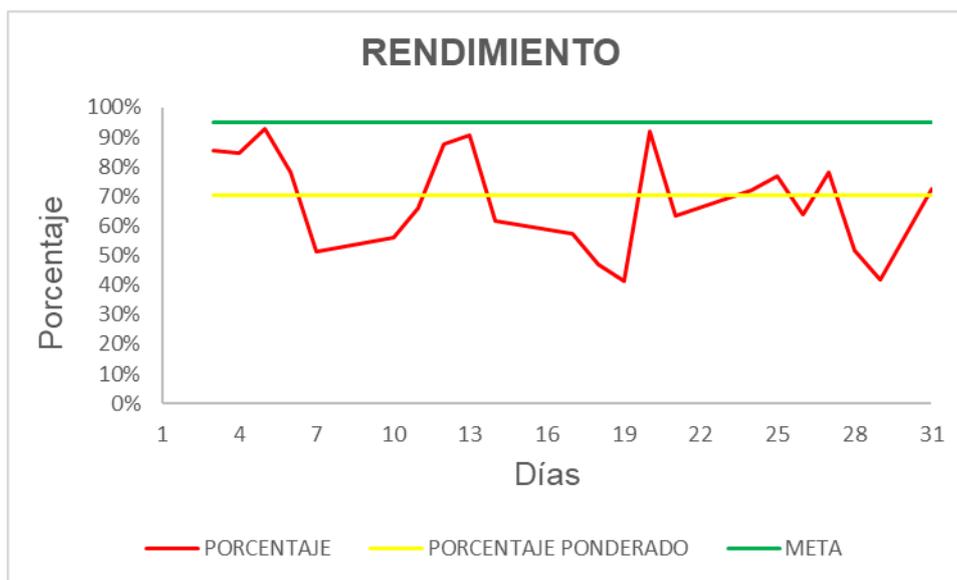


Tabla 08: Promedio ponderado del rendimiento del mes de agosto

Fuente: Propia

RENDIMIENTO				
DIA	PORCENTAJE	ENVASES	PORCENTAJE PONDERADO	META
3	85.62%	444310		
4	84.46%	443910		
5	93.00%	136127		
6	78.07%	420757		
7	51.46%	291017		
10	56.22%	403990		
11	65.86%	560876		
12	87.47%	442314		
13	90.57%	479040		
14	61.47%	333332		
17	57.28%	243911	70.18%	95.00%
18	46.99%	240718		
19	41.18%	219161		
20	91.76%	207584		
21	63.43%	324949		
24	72.00%	124550		
25	76.74%	413571		
26	63.94%	531734		
27	77.89%	411974		
28	51.61%	285029		
29	41.63%	217963		
31	72.36%	399599		

Grafico N° 06: Porcentaje ponderado del rendimiento del mes de agosto



4.1.8.5. Cálculo de indicadores por día producido del mes de setiembre

En el siguiente cálculo se utilizaron las Ecuaciones 03, 04, 05 y 06 que corresponden a los indicadores de disponibilidad, rendimiento, calidad y efectividad. Por lo cual se están considerando los turnos a los cuales se realizó la producción tomando un tiempo de 480 min por turno, con un tiempo de producción planificado de acuerdo a la cantidad de minutos que se realizó la producción sabiendo que por día existen 3 turnos, la empresa no realiza una parada de línea en el proceso de producción para el refrigerio, por lo mismo que entre maquinistas se cubren a la hora del refrigerio. A continuación, se detallará como se calculan los indicadores ya mencionados del primer día de producción del mes de agosto, luego se presentará una tabla resumen brindando los resultados por día de todo el mes.

1. OEE del día 01/09/2020

$$\text{Disponibilidad} = \frac{960 - 140}{960} \times 100\% = 85.42 \%$$

$$\text{Rendimiento} = \frac{0.0015 \times 527200}{820} \times 100\% = 96.44 \%$$

$$\text{Calidad} = \frac{526146}{527200} \times 100\% = 99.8 \%$$

$$\text{Efectividad} = (0.8542 \times 0.9644 \times 0.998) 100\% = 82.21 \%$$

- A continuación, en la tabla 09 se podrá observar el porcentaje de cada indicador de forma diaria de todo el mes de setiembre, lo cual se calcularon conforme el detalle del ejercicio anterior que pertenece al día 01 de setiembre del presente año.

Tabla 09: Porcentaje diario de los indicadores correspondiente al mes de setiembre

Fuente: Propia

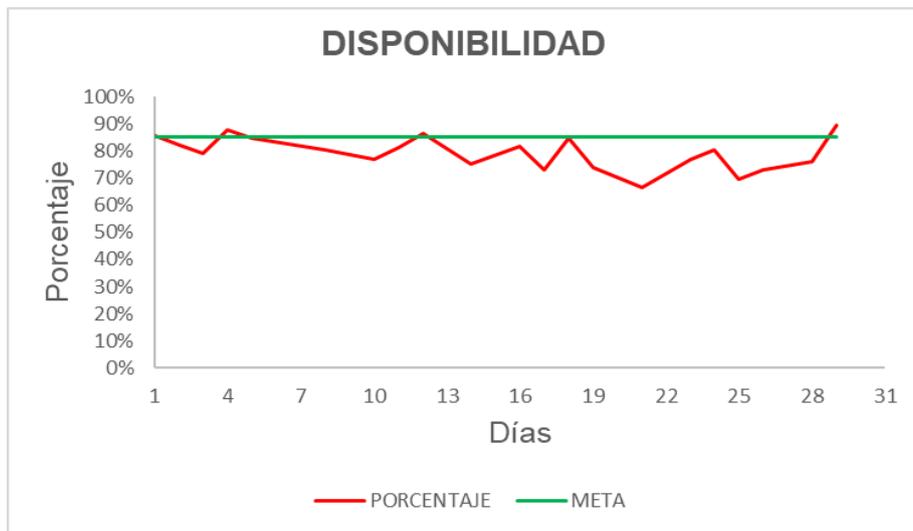
FECHA	DISPONIBILIDAD	RENDIMIENTO	CALIDAD	EFFECTIVIDAD
01/09/2020	85.42%	96.44%	99.80%	82.21%
02/09/2020	82.29%	80.13%	99.80%	65.81%
03/09/2020	79.17%	87.00%	99.80%	68.74%
04/09/2020	87.50%	51.29%	99.80%	44.79%
05/09/2020	84.90%	46.09%	99.80%	39.05%
08/09/2020	80.21%	70.13%	99.80%	56.14%
09/09/2020	78.65%	55.63%	99.80%	43.66%
10/09/2020	77.08%	43.14%	99.80%	33.18%
11/09/2020	81.25%	88.54%	99.80%	71.79%
12/09/2020	86.46%	67.37%	99.80%	58.13%
14/09/2020	75.00%	87.58%	99.80%	65.56%
16/09/2020	81.77%	96.15%	99.80%	78.47%
17/09/2020	72.92%	51.43%	99.80%	37.43%
18/09/2020	84.79%	45.70%	99.80%	38.67%
19/09/2020	73.96%	70.56%	99.80%	52.08%
21/09/2020	66.67%	43.13%	99.80%	28.69%
23/09/2020	77.08%	72.97%	99.80%	56.14%
24/09/2020	80.21%	56.42%	99.80%	45.16%
25/09/2020	69.38%	75.32%	99.80%	52.15%
26/09/2020	73.13%	85.47%	99.80%	62.38%
28/09/2020	76.15%	94.47%	99.80%	71.79%
29/09/2020	89.58%	86.79%	99.80%	77.59%

4.1.8.6. Resultados diarios del mes de setiembre

A continuación, se mostrarán los gráficos de los 4 indicadores calculados anteriormente del mes de setiembre.

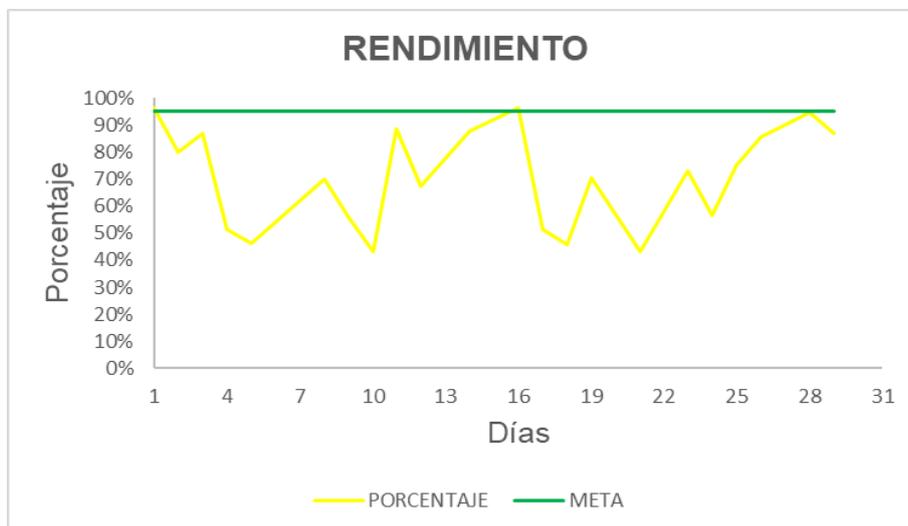
- En el siguiente gráfico 07 se puede visualizar como varía el porcentaje de la disponibilidad diaria de la máquina, no llegando a cumplir con la meta de 85% siendo planteada por la fábrica.

Gráfico N° 07: Porcentaje diario de la disponibilidad del mes de setiembre



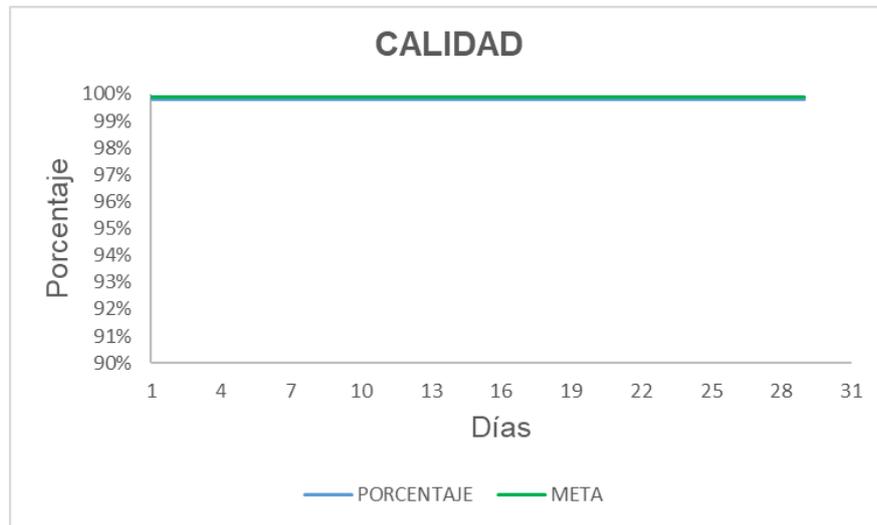
- En el siguiente gráfico 08 se puede visualizar como varía el porcentaje del rendimiento diario de la máquina, no llegando a cumplir con la meta de 95% siendo planteada por la fábrica.

Gráfico N° 08: Porcentaje diario del rendimiento del mes de setiembre



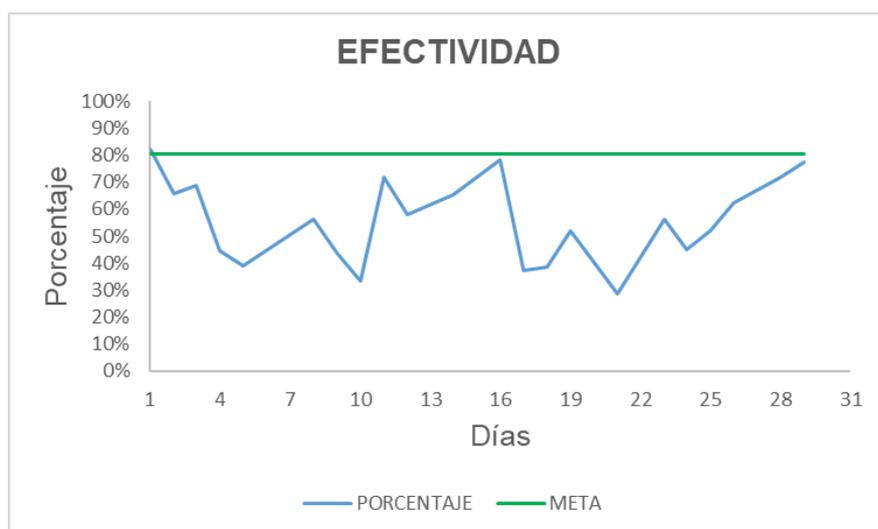
- En el siguiente gráfico 09 se puede visualizar como se mantiene constante el porcentaje de la calidad diario de la máquina llegando a 99.8%, lo cual se aproxima a la meta de 99.9% siendo planteada por la fábrica.

Gráfico N° 09: Porcentaje diario de la calidad del mes de setiembre



- En el siguiente gráfico 10 se puede visualizar como varía el porcentaje de la efectividad diaria de la máquina, no llegando a cumplir con la meta de 80.67% siendo planteada por la fábrica.

Gráfico N° 10: Porcentaje diario de la efectividad del mes de setiembre



4.1.8.7. Promedio ponderado de setiembre

A continuación, se puede visualizar las siguientes tablas 10 y 11 que se encuentran con su respectivo gráfico 11 y 12, pudiendo observar el promedio ponderado de la disponibilidad y rendimiento total de la máquina del mes de setiembre, se tomaron estos dos indicadores ya que su porcentaje es muy bajo a la meta planteada por la empresa. para hallar este resultado se utilizó la Ecuación 07 mencionada en la pág. 34.

Tabla 10: Promedio ponderado de la disponibilidad del mes de setiembre

DISPONIBILIDAD				
DIA	PORCENTAJE	ENVASES	PORCENTAJE PONDERADO	META
1	85.42%	526146		
2	82.29%	421156		
3	79.17%	219959		
4	87.50%	286626		
5	84.90%	249899		
8	80.21%	359280		
9	78.65%	279440		
10	77.08%	212374		
11	81.25%	459479		
12	86.46%	372054		
14	75.00%	419559	72.71%	85.00%
16	81.77%	502194		
17	72.92%	119760		
18	84.79%	247504		
19	73.96%	333332		
21	66.67%	91816		
23	77.08%	359280		
24	80.21%	289021		
25	69.38%	166866		
26	73.13%	199600		
28	76.15%	459479		
29	89.58%	496605		

Grafico N° 11: Porcentaje ponderado de la disponibilidad del mes de setiembre

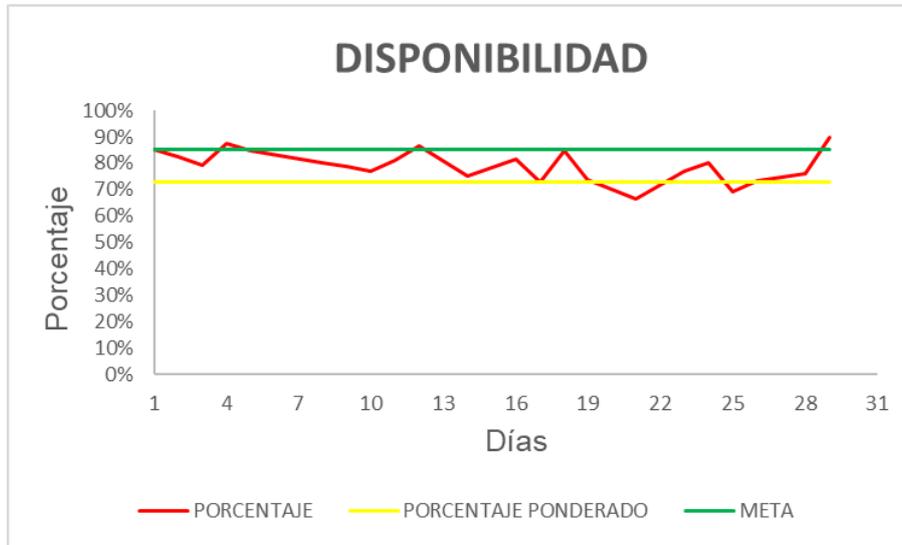
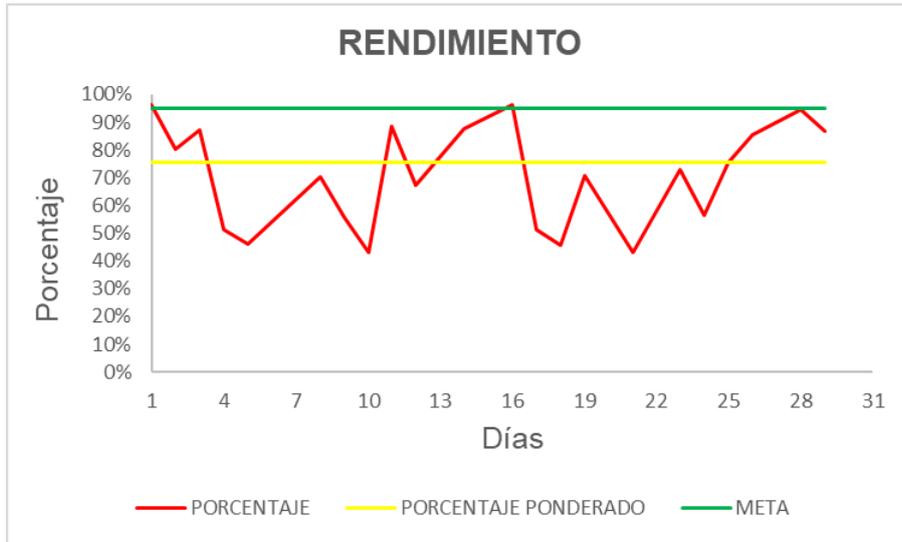


Tabla 11: Promedio ponderado del rendimiento del mes de setiembre

RENDIMIENTO				
DIA	PORCENTAJE	ENVASES	PORCENTAJE PONDERADO	META
1	96.44%	526146		
2	80.13%	421156		
3	87.00%	219959		
4	51.29%	286626		
5	46.09%	249899		
8	70.13%	359280		
9	55.63%	279440		
10	43.14%	212374		
11	88.54%	459479		
12	67.37%	372054		
14	87.58%	419559		
16	96.15%	502194	75.53%	95.00%
17	51.43%	119760		
18	45.70%	247504		
19	70.56%	333332		
21	43.13%	91816		
23	72.97%	359280		
24	56.42%	289021		
25	75.32%	166866		
26	85.47%	199600		
28	94.47%	459479		
29	86.79%	496605		

Grafico N° 12: Porcentaje ponderado del rendimiento del mes de setiembre



4.1.9. Disponibilidad de la máquina

La línea de producción donde se encuentra ubicada la máquina, anualmente entra a mantenimiento mayor, donde toda la línea para por un periodo de 14 días, dicha parada es para la realización del mantenimiento preventivo de todas las máquinas ubicadas en la línea de producción, pudiendo aprovechar esta parada para la implementación del proyecto propuesto.

En la siguiente tabla 12 podemos visualizar el cronograma anual del mantenimiento mayor de todas las líneas con las que cuenta la planta de embotellado.

Tabla 12: Cronograma anual del mantenimiento mayor de líneas de producción

Fuente: Planta embotelladora

EQUIPO	DIAS	JULIO			AGOSTO			SEPTIEMBRE			OCTUBRE			NOVIEMBRE			DICIEMBRE		
		1-10	11-20	21-31	1-10	11-20	21-31	1-10	11-20	21-30	1-10	11-20	21-31	1-10	11-20	21-30	1-10	11-20	21-31
LÍNEA 1	14										L - 1	L - 1							
LÍNEA 2	14								L - 2	L - 2									
LÍNEA 3	10																		L - 3
LÍNEA 4	10								L - 4										
LÍNEA 5	10		L - 5																

4.2. Definición los equipos eléctricos y electrónicos para realizar la automatización de la carga y descarga de botellas

Para realizar la selección de los equipos se hará mediante la teoría de diseño paramétrico de Rudolph (2010), donde explica mediante un diagrama de flujo las etapas que uno debe de seguir para realizar un diseño. En la presente tesis se aplicará cada una de las etapas para la selección de cada equipo, donde el problema para la selección de equipos es uno solo sabiendo que equipos son los necesarios a utilizar, como: motorreductor eléctrico con freno, controlador, equipo de protección, cable eléctrico y encoder. Una vez sabiendo que equipos se necesitan se procederá a proponer 2 equipos por matriz de selección, utilizando fórmulas matemáticas y graficas de satisfacción para su selección de cada equipo, solo no se procederá a utilizar la matriz de selección para la selección del cable eléctrico ya que se cuenta con una tabla con los rangos de amperaje comerciales. Los equipos que se propondrán en las matrices de selección serán tomados de referencia de la empresa embotelladora como modelos y marcas con las que más trabaja para cuando se presente alguna avería en alguno de ellos, la empresa pueda tener más probabilidad de contar con algunos en su almacén.

A continuación, se procederá a sacar los cálculos correspondientes, para la selección de los equipos eléctricos y electrónicos que van a ser utilizados en la presente tesis.

4.2.1. Selección del motor eléctrico y freno

Para poder seleccionar el motorreductor adecuado se tuvo que recolectar la siguiente información de la máquina, el peso, longitud, cantidad de la uña de arrastre y el peso de la botella que vendría a ser del formato más grande que se produce en la máquina. En este caso se va a utilizar la Ecuación 01 ubicada en la pag. 17.

- **Torque en vacío**

En este punto se realizará el cálculo del torque que se requiere cuando la máquina está en funcionamiento, pero sin envases, por lo tanto, se utilizará la Ecuación 01 menos la fricción que genera el

envase al momento de ser arrastrado hacia los bolsillos de los capachos.

$$T_v = W * \frac{L}{2}$$

$$T_v = 3(9.81) * \frac{0.54}{2}$$

$$T_v = 7.95 \text{ N.m}$$

- **Torque con carga**

En este punto se realizará el cálculo del torque que se requiere para una uña de la máquina cuando está en producción con el envase más pesado que en este caso sería el formato de 1L, ya que los demás formatos son más pequeños y su peso vendría a ser menor. También se procederá a utilizar la Ecuación 01.

$$T_c = W * \frac{L}{2} + Fr * L$$

$$Fr = N * \mu$$

$$Fr = 1(9.81) * 0.3$$

$$Fr = 2.94 \text{ N}$$

$$T_c = 7.95 + 2.94 * 0.54$$

$$T_c = 9.54 \text{ N.m}$$

- **Torque del motor**

En este punto se calculará el torque necesario del motorreductor ya habiendo tenido en torque necesario con carga de una uña, se

procederá a calcular por el total de uñas que cuenta la maquina ya que el torque con carga fue definido solo para una uña y la máquina cuenta con 49 uñas, también se le considerara un factor de seguridad de 1.5.

$$T_{\text{total}} = \#_{\text{uñas}} * T_{\text{uña}} * F_s$$

$$T_{\text{total}} = 49 * 9.54 * 1.5$$

$$T_{\text{total}} = 701.19 \text{ N.m}$$

- **Selección del equipo a utilizar**

Para realizar la selección de equipo se tomó en cuenta la satisfacción del cliente, brindando pesos al costo del equipo y su eficiencia. A continuación, se realizará el cálculo para el costo del equipo teniendo como resultado un peso que se añadirá en la tabla 13 para luego proceder con el promedio total de cada equipo. En el siguiente cálculo se tomará como precio máximo S/. 17,500.00 con una eficiencia de 97% y un costo mínimo S/. 9,500.00 con una eficiencia de 90%, lo cual el precio máximo no es de mucha satisfacción para la empresa y el monto mínimo si es de suma satisfacción para la empresa.

A continuación, se presentarán las gráficas 13 y 14, donde se indica la escala de satisfacción del cliente de acuerdo al precio y eficiencia del equipo.

Gráfico N° 13: Escala de satisfacción del cliente con respecto al precio del motor

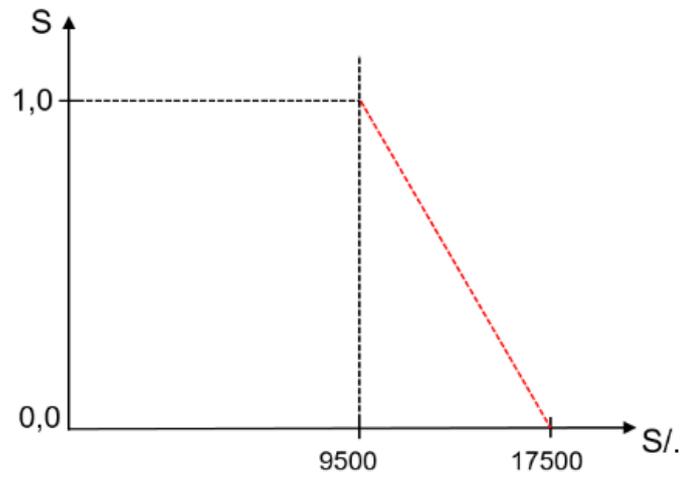
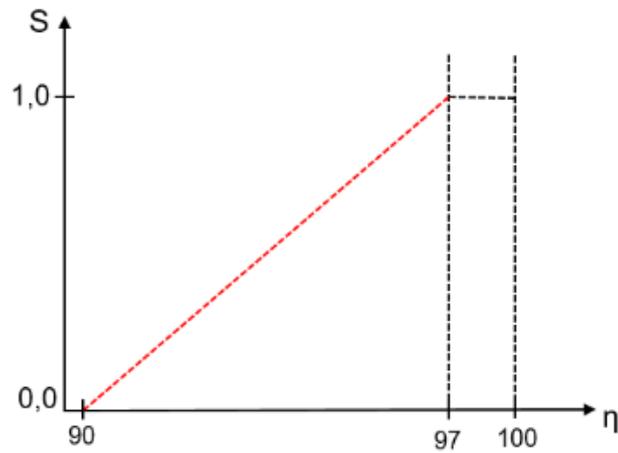


Gráfico N° 14: Escala de satisfacción del cliente con respecto a la eficiencia del motor



- Cálculo promedio para el costo y la eficiencia del motorreductor

$$S_{S/.} = \frac{17,500.00 - 10,325.59}{17,500.00 - 9,500.00}$$

$$S_{S/.} = 0.89$$

$$\eta_{\%} = \frac{91.8 - 90}{97 - 90}$$

$$\eta_{\%} = 0.25$$

- Cálculo promedio para el costo y eficiencia del servomotor

$$S_{S/.} = \frac{17,500.00 - 15,700.43}{17,500.00 - 9,500.00}$$

$$S_{S/.} = 0.22$$

$$\eta_{\%} = \frac{95.4 - 90}{97 - 90}$$

$$\eta_{\%} = 0.77$$

En la siguiente tabla 13 se puede observar la clasificación del equipo más adecuado a utilizar en la presente tesis.

Tabla 13: Matriz de selección del motor

Fuente: Elaboración propia

SELECCIÓN DEL MOTOR ELÉCTRICO					
Equipo	Precio (S/.)	$S_{S/.}$ 60%	Eficiencia (η)	S_{η} 40%	Q 100%
Motorreductor	10,325.59	0.89	91.8	0.25	0.63
Servomotor	15,700.43	0.22	95.4	0.77	0.44

- **Selección del motorreductor**

Para realizar la selección del motorreductor se va ingresar a la página de SEW y desde ese medio se hará la selección de acuerdo a su torque total dado anteriormente, de esa forma SEW brindará todas las características del motorreductor.

En la siguiente figura 18 se va a visualizar una serie de motorreductores, por lo tanto, el que se llegó a seleccionar fue uno con el torque mayor al que salió por formula anteriormente siendo el código del motorreductor R77DRN132S4 con una potencia de 5.5 kW y un torque de salida de 750 N.m.



Búsqueda

Designación del tipo requerido:

Diseño del reductor:

Tipo motor:

País de uso:

Potencia del motor P [kW] / Par Ma [Nm]: ± / ±

Velocidad de salida na [1/min] / Índice de reducción i: ± / ±

Factor de servicio fB: ±

Clase con eficiencia internacional (IE):

Nº de polos:

Series de motor:

Factor de duración:

Operación de convertidor de frecuencia:

Velocidades de salida bajas especiales:



Resultados de la búsqueda

Denominación	Clase eficiente	P [kW]	na [1/min]	Ma [Nm]	i	fB	na2 [1/min]	Factor con duración cíclica
R77DRN132S4	IE3	5,5	70	750	25,23	1,05	1768	S1-100%
R77DRN132S4	IE3	5,5	94	560	18,8	1,4	1768	S1-100%
R77DRN132S4	IE3	5,5	99	530	17,82	1,45	1768	S1-100%
R67DRN132S4	IE3	5,5	112	470	15,79	1,2	1768	S1-100%
R87DRN132S4	IE3	5,5	63	830	27,88	1,8	1768	S1-100%
R87DRN132S4	IE3	5,5	64	830	27,84	1,85	1768	S1-100%
R87DRN132S4	IE3	5,5	76	695	23,4	2,2	1768	S1-100%
R77DRN132M4	IE3	7,5	94	755	18,8	1,05	1774	S1-100%
R87DRN132M4	IE3	7,5	76	940	23,4	1,65	1774	S1-100%

Figura 18: Selección del motorreductor

Fuente: (Sew, 2006)

Una vez seleccionado el motorreductor a utilizar, se ingresa a sus características lo cual nos brindará en una de ellas su posición de montaje adecuada y alternas a trabajar con el dimensionado de su eje de salida del reductor, pudiendo visualizar en la siguiente figura 19 lo ya mencionado.

Driveconfigurator **R77DRN132S4BE11HR** **Opciones del usuario**

Volver 1 Búsqueda > 2 Variantes > 3 Opciones > 4 Resumen **Siguiente**

Opciones de diseño

Posición de montaje:	M1
ángulo de pivote:	Sin angulo pivotante
Tipo integrado:	R... Diseño con patas
Eje de salida:	40x80 mm
Interface de motor digital:	<i>i</i> Sin integración de motor digital
Posición de conexión/caja de bornas:	0 °
Entrada de cable/ Posición del conector:	X

Posición de montaje:

Una vez conociendo su posición de montaje del motorreductor, se procede a la implementación de su freno seleccionando las características con las que se requiere y así obtener un freno adecuado para el trabajo a realizar, pudiendo visualizar en la siguiente figura 20 que se selecciona el tipo de freno, par de frenado, voltaje de alimentación, tipo de retorno y posición del desbloqueo manual, una vez seleccionados esos datos el mismo programa de SEW brinda su descripción del freno dentro de ellas están la potencia de trabajo, su vida útil y la ubicación de los grados donde se encuentra ubicado el desbloqueo manual.

Driveconfigurator
R77DRN132S4BE11
Opciones del usuario

Volver
1 Búsqueda
2 Variantes
3 Opciones
4 Resumen
Siguiente

Freno

Freno de seguridad:

Freno de seguridad

Freno:

Sin selección

BE5 (14 - 55 Nm)

BE11 (20 - 110 Nm) (Estandar)

Par de frenado:

20 Nm

28 Nm

40 Nm

55 Nm

80 Nm (Estandar)

110 Nm

Tensión de freno:

380V AC (380-341V)

Control del freno:

BGE- con conmutación electrónica

Palanca de desbloqueo del freno:

Sin selección

HR - con retorno automático

HF - Con bloqueo manual

Posición del desbloqueo manual del freno:

303° (Estandar)

213°

123°

33°

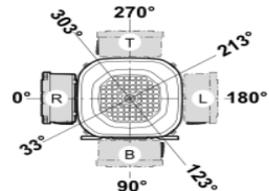
Descripción



El freno BE es un freno electromagnético de disco CC que se abre eléctricamente y se frena por medio de una fuerza de muelle. Utiliza el sistema de dos bobinas de SEW-EURODRIVE. El freno se acciona desde un control de freno situado en la caja de bornas del motor o en el armario de conexiones.

Potencia de trabajo [Nm]	110
[kJ]	23
Vida útil [MJ]	645

Posición del desbloqueo manual del freno



Opciones seleccionadas

Opciones
Eje de salida: 40x80 mm
Voltaje del freno (380V AC (380-341V))
Aislamiento térmico 155(F)
Freno BE11- SEW - freno de disco (380 V, 28 Nm)
Grado de protección IP 55
Control del freno BGE- con conmutación electrónica
Tensión, frecuencia, bobinado

Figura 20: Características del freno

Fuente: (Sew, 2006)

Una vez seleccionados todos los datos necesarios para la selección del motorreductor adecuado, SEW brinda toda la descripción de placa de los equipos seleccionados, el cual se podrá observar en la siguiente figura 21.

Datos de producto

Velocidad nominal del motor	[1/min] : 1768
Velocidad de salida	[1/min] : 70
Índice de reducción total	: 25,23
Par de salida	[Nm] : 750
Factor de servicio SEW-FB	: 1,05
Posición de montaje	: M1
Pintura imprimación/CapaFinal	: 7031 Gris azulado (51370310)
Posición de conexión/caja de bornas	[°] : 0
Entrada de cable/ Posición del conector	: X
Eje de salida	[mm] : 40x80
Salida de carga radial permitida a n=1750	[N] : 8870
Cantidad de lubricante 1er reductor	[Litro] : 1,2
Potencia del motor	[kW] : 5,5
Factor de duración	: S1-100%
Clase eficiente	: IE3
Eficiencia (50/75/100% Pn)	[%] : 90,93 / 91,83 / 91,7
Marcado CE	: Si
Tensión del motor	[V] : 220/380
Esquema de conexionado	: R13
Frecuencia	[Hz] : 60
Corriente nominal	[A] : 19,2 / 11,1
Cos Phi	: 0,82
Clase de aislamiento	: 155(F)
Tipo protección del motor	: IP55
Requisito del diseño	: IEC
Momento de inercia de masa del motor	[10 ⁻⁴ kgm ²] : 251,25
Peso	[kg] : 102,50
Par de frenado	[Nm] : 28
Voltaje del freno	[V] : 380
Control de freno	: BGE1.5



Características adicionales

Eje de salida: 40x80 mm

Voltaje del freno (380V AC (380-341V))

Aislamiento térmico 155(F)

Freno BE11- SEW - freno de disco (380 V, 28 Nm)

Palanca de desbloqueo del freno HR- palanca de desbloqueo con retorno automático (303°)

Grado de protección IP 55

Control del freno BGE- con conmutación electrónica

Tensión, frecuencia, bobinado

Figura 21: Datos del motorreductor y freno

Fuente: (Sew, 2006)

4.2.2. Selección del controlador

Para poder realizar la selección del equipo que realizará el control de los motorreductores que se incorporaran en la carga y descarga de botellas, se tiene que tener en cuenta la potencia del motor al cual va a comandar añadiéndole un 20% más de la potencia nominal del motor.

- **Potencia del controlador**

En este caso se va a utilizar la Ecuación 02 ubicada en la pag. 21.

$$P_{\text{controlador}} = 5.5 \text{ kW} * 1.2$$

$$P_{\text{controlador}} = 6.6 \text{ kW}$$

- **Selección del equipo a utilizar**

Para realizar la selección del equipo se tomó en cuenta la satisfacción del cliente, brindando pesos al costo del equipo y su eficiencia. A continuación, se realizará el cálculo para el costo del equipo teniendo como resultado un peso que se añadirá en la tabla 14 para luego proceder con el promedio total de cada equipo. En el siguiente cálculo se tomará como precio máximo S/. 3,200.00 con una eficiencia de 97% y un costo mínimo S/. 1,000.00 con una eficiencia de 90%, lo cual el precio máximo no es de mucha satisfacción para la empresa y el monto mínimo si es de suma satisfacción para la empresa.

A continuación, se presentarán las gráficas 15 y 16, donde se indica la escala de satisfacción del cliente de acuerdo al precio y eficiencia del equipo.

Grafico N° 15: Escala de satisfacción del cliente con respecto al precio del controlador del motor

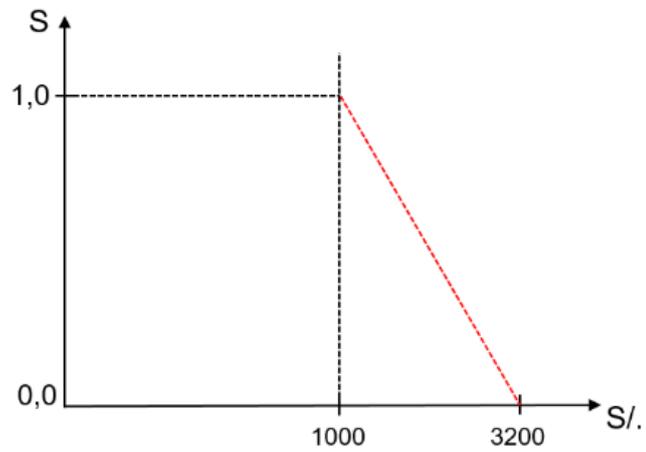
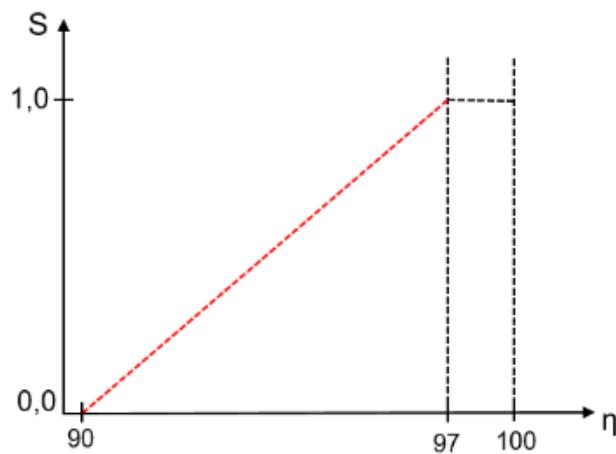


Grafico N° 16: Escala de satisfacción del cliente con respecto a la eficiencia del controlador del motor



- Cálculo promedio para el costo y la eficiencia del variador de velocidad

$$S_{S/.} = \frac{3,200.00 - 2,505.85}{3,200.00 - 1,000.00}$$

$$S_{S/.} = 0.32$$

$$\eta_{\%} = \frac{95 - 90}{97 - 90}$$

$$\eta_{\%} = 0.71$$

- Cálculo promedio para el costo y eficiencia del arrancador de estado sólido.

$$S_{S/.} = \frac{3,200.00 - 1,980.42}{3,200.00 - 1,000.00}$$

$$S_{S/.} = 0.55$$

$$\eta_{\%} = \frac{91 - 90}{97 - 90}$$

$$\eta_{\%} = 0.14$$

En la siguiente tabla 14 se puede visualizar la evaluación de los equipos a utilizar en la presente tesis.

Tabla 14: Matriz de selección de controlador

Fuente: Elaboración propia

SELECCIÓN DEL CONTROLADOR DEL MOTOR					
Equipo	Precio (S/.)	$S_{S/.}$ 60%	Eficiencia (η)	S_{η} 40%	Q 100%
Variador de velocidad	2,505.85	0.32	95	0.71	0.48
Arrancador de estado solido	1,980.42	0.55	91	0.14	0.39

- **Pantalla de programación del variador danfoss**

En la siguiente figura 22, podemos visualizar la pantalla de programación de variador, donde por medio de esta pantalla podemos ingresar todos los datos del motor y adicionales para su trabajo del mismo.

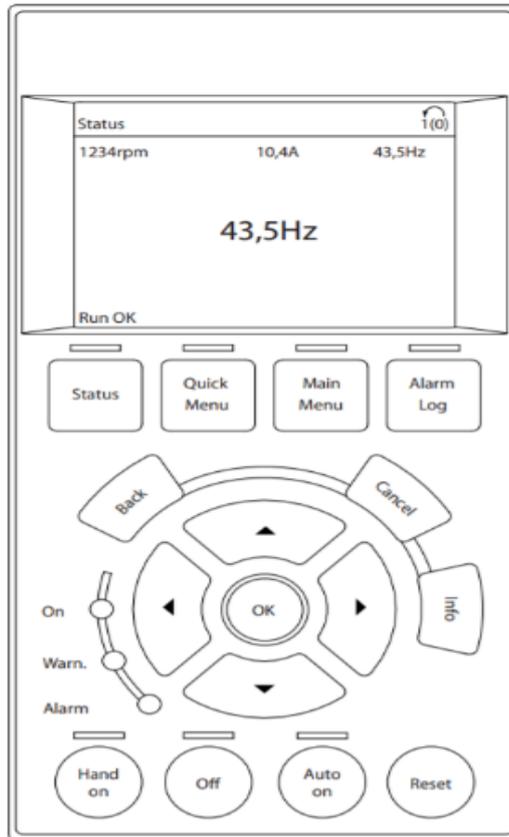


Figura 22: Pantalla de programación del variador danfoss

Fuente: Danfoss

- **Ingreso de datos del motor en el variador**

En la siguiente figura 23, se puede observar la opción del ingreso de datos del motor en el variador, los datos principales que son ingresados son: potencia, voltaje, rpm y corriente.

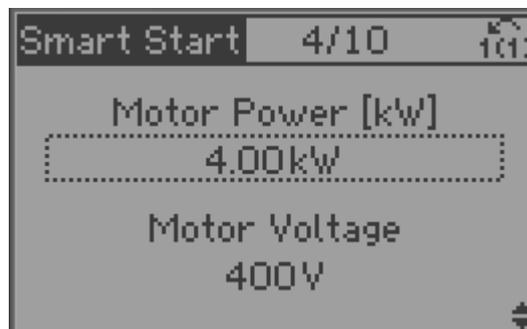


Figura 23: Descarga de botellas

Fuente: Danfoss

- **Rampas de aceleración y desaceleración**

En la siguiente figura 24, se puede observar el tiempo de aceleración del motor que es programado en su variador, también se puede programar el tiempo de desaceleración del motor que vendría a ser parecido al de aceleración ubicado en el número 1-72, normalmente estos tiempos mencionados son de 5 segundos.

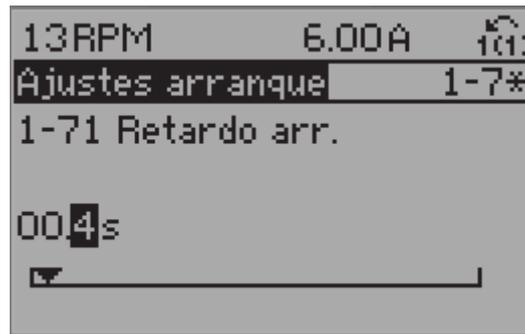


Figura 24: Tiempo de aceleración

Fuente: Danfoss

- **Pantalla de inicio del variador en funcionamiento**

En la siguiente figura 25, se puede observar la pantalla de inicio del variador mostrando los datos reales del motor en pleno funcionamiento, llegando a mostrar la siguiente información: rpm, amperaje, potencia, frecuencia y porcentaje de funcionamiento.

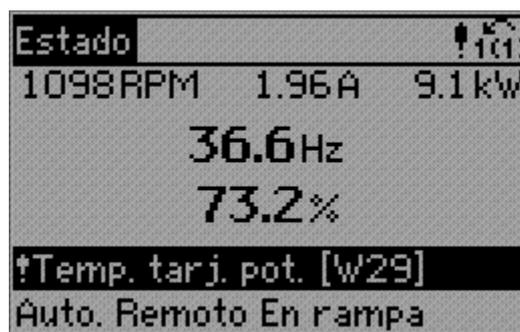


Figura 25: Pantalla de inicio del variador

Fuente: Danfoss

4.2.3. Selección del equipo de protección

Para poder realizar la selección del equipo de protección la cual va a proteger al motor eléctrico de toda sobrecarga, se tiene que tener en

cuenta la corriente nominal del motor el cual va a ser alimentado añadiéndole un 25% (según el CNE sección 160, código 160-306, pág. 11 de 24). Utilizando la siguiente fórmula se sacará la corriente de diseño la cual será la indicada para la protección del motor.

$$I_d = I_{\text{motor}} * 1.25$$

$$I_d = 11.1 * 1.25$$

$$I_d = 13.88 \text{ A}$$

Esta corriente de diseño dada en la ecuación anterior se utilizará para ambos equipos de protección tanto en la carga y descarga de botellas.

- **Selección del equipo a utilizar**

Para realizar la selección del equipo se tomó en cuenta la satisfacción del cliente, brindando pesos al costo del equipo y su eficiencia. A continuación, se realizará el cálculo para el costo del equipo teniendo como resultado un peso que se añadirá en la tabla 15 para luego proceder con el promedio total de cada equipo. En el siguiente cálculo se tomará como precio máximo S/. 350.00 con una eficiencia de 97% y un costo mínimo S/. 100.00 con una eficiencia de 90%, lo cual el precio máximo no es de mucha satisfacción para la empresa y el monto mínimo si es de suma satisfacción para la empresa.

A continuación, se presentarán las gráficas 17 y 18, donde se indica la escala de satisfacción del cliente de acuerdo al precio y eficiencia del equipo.

Gráfico N° 17: Escala de satisfacción del cliente con respecto al precio del equipo de protección

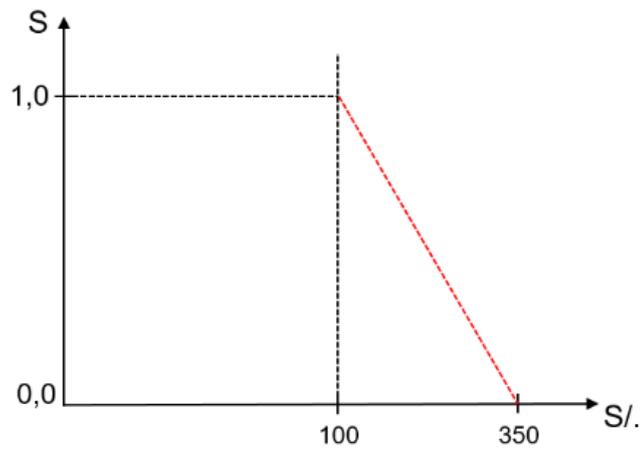
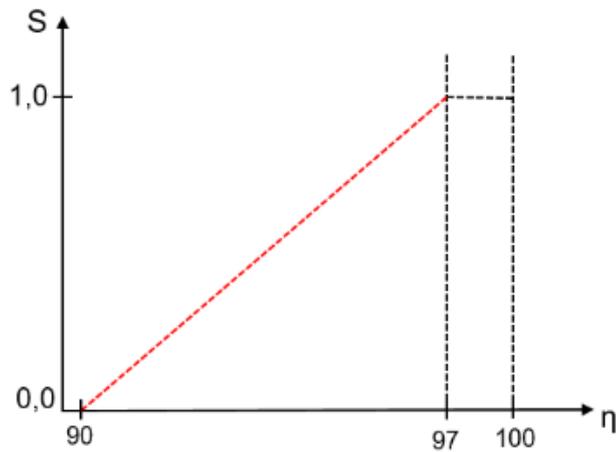


Gráfico N° 18: Escala de satisfacción del cliente con respecto a la eficiencia del equipo de protección



- Cálculo promedio para el costo y la eficiencia de la llave termomagnética.

$$S_{S/.} = \frac{350 - 250.28}{350 - 100}$$

$$S_{S/.} = 0.39$$

$$\eta_{\%} = \frac{93 - 90}{97 - 90}$$

$$\eta_{\%} = 0.43$$

- Cálculo promedio para el costo y eficiencia del guardamotor.

$$S_{S/.} = \frac{350 - 300}{350 - 100}$$

$$S_{S/.} = 0.2$$

$$\eta_{\%} = \frac{94 - 90}{97 - 90}$$

$$\eta_{\%} = 0.57$$

En la siguiente tabla 15 se puede visualizar la evaluación de los equipos a utilizar en la presente tesis.

Tabla 15: Matriz de selección del equipo protección

Fuente: Elaboración propia

SELECCIÓN DEL EQUIPO DE PROTECCIÓN					
Equipo	Precio (S/.)	$S_{S/.}$ 60%	Eficiencia (η)	S_{η} 40%	Q 100%
Llave termomagnética	250.28	0.39	93	0.43	0.41
Guardamotor	300	0.2	94	0.57	0.35

En la tabla 16, se puede observar los rangos de amperaje comerciales que existen en las llaves termomagnéticas trifásicas, ya que para la presente tesis se requiere una llave de 13.88A, pudiendo observar en la tabla que no se cuenta con una llave del mismo rango, pero se puede optar por la siguiente llave de mayor rango que vendría a ser la de 16A.

Tabla 16: Llaves térmicas comerciales

Fuente: Schneider

REFERENCIA	TIPO	In (A)	Capacidad de interrupción última			
			IEC60999-1		IEC60947-2	
			400VAC (A)	220VAC (kA)	380VAC (kA)	440VAC (kA)
A9FB4202	IC60H	2	10000	70	70	50
A9FB4204	IC60H	4	10000	70	70	50
A9FB4206	IC60H	6	10000	30	15	10
A9FB4210	IC60H	10	10000	30	15	10
A9FB4216	IC60H	16	10000	30	15	10
A9FB4220	IC60H	20	10000	30	15	10
A9FB4225	IC60H	25	10000	30	15	10
A9FB4232	IC60H	32	10000	30	15	10
A9FB4240	IC60H	40	10000	30	15	10
A9FB4250	IC60H	50	10000	30	15	10
A9FB4263	IC60H	63	10000	30	15	10

- **Parte interna de la llave termomagnética trifásica**

En la siguiente figura 26 se puede observar su parte interna detallada de las llaves termomagnéticas trifásicas.

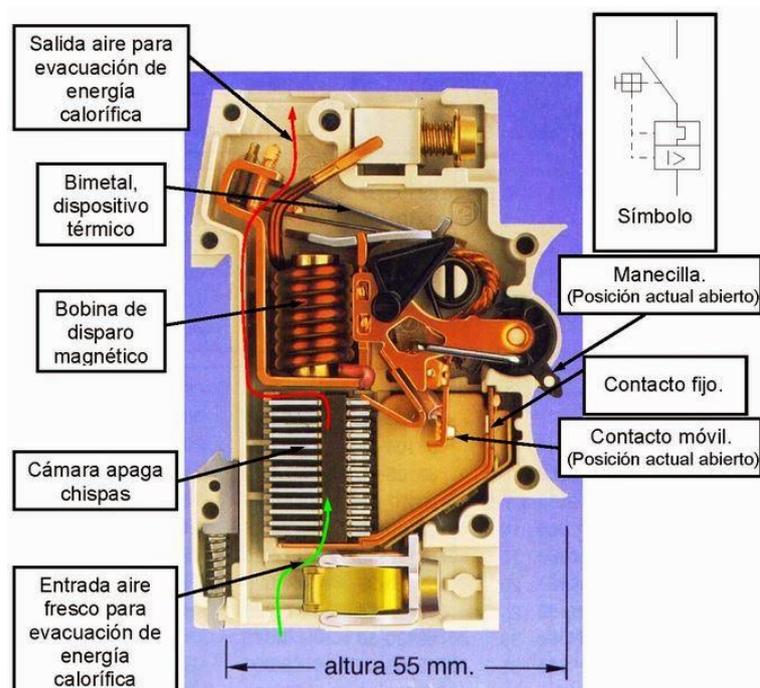


Figura 26: Estructura externa de la llave termomagnética trifásica

Fuente: Schneider

4.2.4. Selección del cable eléctrico

Para poder realizar la selección del cable de alimentación del motor eléctrico el cual va a trasladar la corriente de alimentación a los motores, se tiene que tener en cuenta la corriente nominal del motor.

- **Selección del conductor**

El conductor tiene que tener una resistencia de amperaje mayor que la llave termomagnética, sabiendo que la llave servirá de protección del motor eléctrico y del conductor para que no tienda a quemarse en una sobrecarga, por ende, la resistencia del conductor tiene que ser mayor de 16A, por lo cual se podrá observar la tabla 17 donde se realizará la selección del conductor adecuado, sabiendo que el conductor será tendido por bandejas las cuales van por aire.

Tabla 17: Capacidad de conductores AWG

Fuente: Indeco

CALIBRE		CAPACIDAD DE CORRIENTE (A) CONDUCTORES TRIFÁSICOS DE COBRE								
		Temperatura ambiente: 30°C aire y 25°C enterrado								
		TW, THW y NYY Unipolar - 3 conductores por tubo								
Escala Métrica	Escala Americana	TW		THW		NYY - NYSY			NYY - NYSY	
		tensión 660V, Temp. Max. 60°C	tensión 750V, Temp. Max. 75°C	tensión 750V, Temp. Max. 75°C	tensión 750V, Temp. Max. 75°C	Tensión 0,6/1KV Temp. Max. 80°C	Tensión 0,6/1KV Temp. Max. 80°C	Tensión 0,6/1KV Temp. Max. 80°C	Tensión 0,6/1KV Temp. Max. 90°C	Tensión 0,6/1KV Temp. Max. 90°C
mm ²	AWG/MCM	Tubo	Aire	Tubo	Aire	Tubo	Aire	Enterrado	Aire	Enterrado
0.5		4	7							
0.52	20	5	8							
0.75		6	9							
0.82	18	7	10							
1		8	11							
1.31	16	10	15							
1.5		10	16	12	18	23	27	31	31	41
2.08	14	15	20	15	22					
2.5		18	22	20	25	35	38	45	41	54
3.31	12	20	25	20	28					
4		25	32	27	37	44	50	58	55	70
5.26	10	30	40	30	45					
6		35	45	38	52	56	66	76	69	87
8.37	8	40	55	45	65					
10		46	67	50	78	83	91	99	94	117

- **Caída de tensión del conductor seleccionado**

Habiendo seleccionado el conductor de 2.08mm^2 teniendo una resistencia de 20A cuando es tendido por aire, por ende se procederá a aplicar la fórmula establecida de caída de tensión, sabiendo que la caída de tensión máxima de un conductor tiene que ser entre 2.5% a 4% como máximo (según el CNE sección 050, código 050-102, pag. 1 de 12).

ΔV = Caída de tensión

ρ = Resistividad del cobre

I_n = Corriente nominal del motor

L = Longitud máxima del cable

S = Sección del conductor

V = Voltaje de alimentación del motor

$$\Delta V = \frac{\rho * L * I * \sqrt{3}}{S * V}$$

$$\Delta V = \frac{0.0178 \frac{\text{ohm} * \text{mm}^2}{\text{m}} * 30\text{m} * 11.1\text{A} * \sqrt{3}}{2.08\text{mm}^2 * 380\text{V}}$$

$$\Delta V = 0.013\%$$

4.2.5. Selección del encoder

Para poder realizar la selección del encoder incremental para el motor eléctrico, el cual va a ser quien denomine su posición en la sincronización de los formatos a producir, se tiene que tener en cuenta la precisión a la que debería de trabajar para ver la cantidad de pulsos que debería de tener el encoder.

- **Selección del equipo a utilizar**

Para realizar la selección del equipo se tomó en cuenta la satisfacción del cliente, brindando pesos al costo del equipo y su eficiencia. A continuación, se realizará el cálculo para el costo del equipo teniendo como resultado un peso que se añadirá en la tabla 18 para luego proceder con el promedio total de cada equipo. En el siguiente cálculo se tomará como precio máximo S/. 5,000.00 con una eficiencia de 97% y un costo mínimo S/. 3,000.00 con una eficiencia de 90%, lo cual el precio máximo no es de mucha satisfacción para la empresa y el monto mínimo si es de suma satisfacción para la empresa.

A continuación, se presentarán las gráficas 19 y 20, donde se indica la escala de satisfacción del cliente de acuerdo al precio y eficiencia del equipo.

Gráfico N° 19: Escala de satisfacción del cliente con respecto al precio del encoder incremental

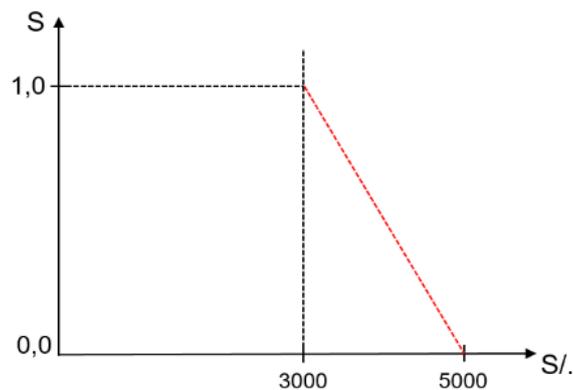
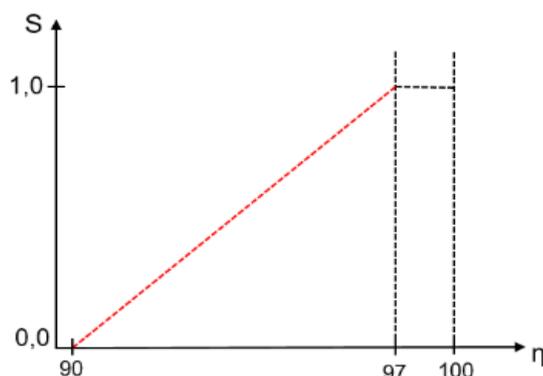


Gráfico N° 20: Escala de satisfacción del cliente con respecto a la eficiencia del encoder incremental



- Cálculo promedio para el costo y la eficiencia del encoder de 5000 pulsos.

$$S_{S/.} = \frac{5,000.00 - 3,500.38}{5,000.00 - 3,000.00}$$

$$S_{S/.} = 0.75$$

$$\eta_{\%} = \frac{96 - 90}{97 - 90}$$

$$\eta_{\%} = 0.86$$

- Cálculo promedio para el costo y eficiencia del encoder de 3000 pulsos.

$$S_{S/.} = \frac{5,000.00 - 3,200.47}{5,000.00 - 3,000.00}$$

$$S_{S/.} = 0.89$$

$$\eta_{\%} = \frac{93 - 90}{97 - 90}$$

$$\eta_{\%} = 0.43$$

En la siguiente tabla 18 se puede visualizar la evaluación de los equipos a utilizar en la presente tesis.

Tabla 18: Matriz de selección del encoder

Fuente: Elaboración propia

SELECCIÓN DEL ENCODER OPTICO INCREMENTAL					
Equipo	Precio (S/.)	$S_{S/.}$ 60%	Eficiencia (η)	S_{η} 40%	Q 100%
Encoder 5000 pulsos	3,500.38	0.75	96	0.86	0.8
Encoder 3000 pulsos	3,200.47	0.89	93	0.43	0.71

- **Encoder incremental**

Los encoder de incremento proveen un número específico de pulsos equitativamente espaciados por revolución, por pulgada o milímetro de movimiento lineal. Se utiliza un solo canal de salida para aplicaciones donde el sentido de la dirección de movimiento no es importante (unidireccional). Donde se requiere el sentido de dirección, se utiliza la salida de cuadratura (bidireccional), con dos canales de 90 grados eléctricos fuera de la fase; el circuito determina la dirección de movimiento basado en la fase de relación entre ellos.

En la siguiente figura 27, se puede observar como realiza en envío de los pulsos el encoder mientras va girando, el channel A son los pulsos finos y el channel B son los pulsos gruesos teniendo un desfase entre ellos de 90°.

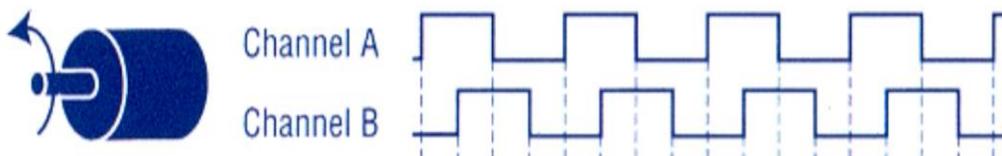


Figura 27: Pulsos del encoder incremental

Fuente: Sick

- **Longitud del cable del encoder**

La longitud del cable que se requiere en el encoder se puede pedir al fabricante ya que los encoder vienen con un estándar en la cantidad de cable, por otro lado, la velocidad de los pulsos va a depender mucho de la longitud de cable que se use como muestra la siguiente tabla 19. En este proyecto se va a requerir una longitud de cable de 50 metro ya que esa distancia se encuentra el PLC de la máquina donde van a ir conectados los encoder.

Tabla 19: Velocidad de señales por distancia

Fuente: Sick

Longitud de Cable	Velocidad de Señal
50 m	400 KHz
100 m	300 KHz
200 m	200 KHz
400 m	100 KHz

- **Conversión de los pulsos de decimal a binario**

Para la conversión de los pulsos de decimal a binario se divide la cantidad de pulsos del encoder en este caso sería 5000 entre 2 y así sucesivamente hasta que el resultado sea cero o uno, una vez realizada esa operación se toman todos los restos y al final se le añade el último cociente de la división, ya que esos numero sería el código en binario emitido por el encoder incremental a usar.

$$\frac{5000}{2} = \frac{2500}{2} = \frac{1250}{2} = \frac{625}{2} = \frac{312}{2} = \frac{156}{2} = \frac{78}{2} = \frac{39}{2} = \frac{19}{2} = \frac{9}{2} = \frac{4}{2} = \frac{2}{2} = 1$$

En la siguiente tabla 20 se mostrará los números de decimal a binario, que se llegaron a obtener de la ecuación realizada anteriormente, por el motivo que la numeración de los pulsos del encoder se envían de forma binaria al PLC y en el mismo se convierte en decimales.

Tabla 20: Conversión de decimal a binario

Fuente: Elaboración propia

Decimal	Código Binario
5000	0
2500	0
1250	0
625	1
312	0
156	0
78	0
39	1
19	1
9	1
4	0
2	0
-	1

4.2.6. Selección del equipo de control para el freno

Para la selección del equipo que hará el control del funcionamiento del freno se creó la siguiente tabla 21 con 2 opciones y la que mejores resultados brinde será la seleccionada.

- **Selección del equipo a utilizar**

Para realizar la selección del equipo se tomó en cuenta la satisfacción del cliente, brindando pesos al costo del equipo y su eficiencia. A continuación, se realizará el cálculo para el costo del equipo teniendo como resultado un peso que se añadirá en la tabla 18 para luego proceder con el promedio total de cada equipo. En el siguiente cálculo se tomará como precio máximo S/. 300.00 con una eficiencia de 97% y un costo mínimo S/. 100.00 con una eficiencia de 90%, lo cual el precio máximo no es de mucha satisfacción para la empresa y el monto mínimo si es de suma satisfacción para la empresa.

A continuación, se presentarán las gráficas 21 y 22, donde se indica la escala de satisfacción del cliente de acuerdo al precio y eficiencia del equipo.

Gráfico N° 21: Escala de satisfacción del cliente con respecto a la eficiencia del controlador del freno

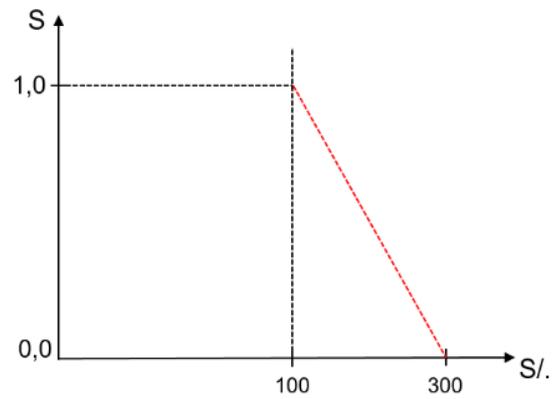
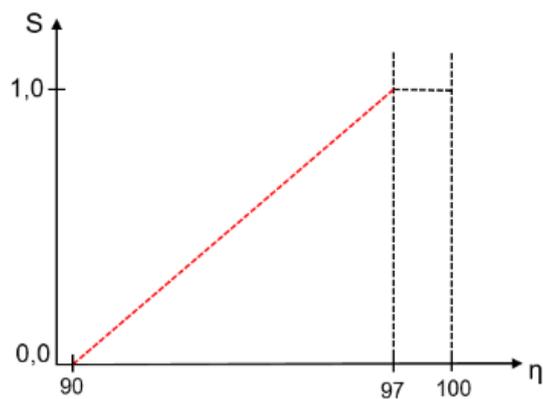


Gráfico N° 22: Escala de satisfacción del cliente con respecto a la eficiencia del controlador del freno



- Cálculo promedio para el costo y la eficiencia del contactor.

$$S_{S/.} = \frac{300.00 - 240.25}{300.00 - 100.00}$$

$$S_{S/.} = 0.3$$

$$\eta_{\%} = \frac{95 - 90}{97 - 90}$$

$$\eta_{\%} = 0.71$$

- Cálculo promedio para el costo y eficiencia del encoder de 3000 pulsos.

$$S_{S/.} = \frac{300.00 - 180.35}{300.00 - 100.00}$$

$$S_{S/.} = 0.6$$

$$\eta_{\%} = \frac{91 - 90}{97 - 90}$$

$$\eta_{\%} = 0.14$$

En la siguiente tabla 21 se puede visualizar la evaluación de los equipos a utilizar en la presente tesis.

Tabla 21: Matriz de selección del controlador del freno

Fuente: Elaboración propia

SELECCIÓN DEL EQUIPO PARA EL CONTROL DEL FRENO					
Equipo	Precio (S/.)	$S_{S/.}$ 60%	Eficiencia (η)	S_{η} 40%	Q 100%
Contactador	240.25	0.3	95	0.71	0.46
Relee	180.35	0.6	91	0.14	0.42

Este tipo de equipo (contactador) en la actualidad viene siendo muy utilizado en las industrias por su capacidad de trabajo y resultados brindados, en la actualidad existen diferentes tipos de marcas y modelos de contactores, lo cual la marca siemens viene llevando la delantera en el mercado con sus contactores ya que brindan una mayor confiabilidad y efectividad en sus componentes.

Para la selección del contactador del freno tenemos que tener en cuenta la potencia del motor al que se le va a realizar su frenado, en este caso conocemos su potencia mecánica del motor trifásico y su rendimiento lo cual tenemos que convertirla a potencia eléctrica para conocer cuál va a ser la potencia necesaria para el frenado del motor. A continuación, se va a realizar el cálculo de la potencia eléctrica del motor eléctrico.

$$P_e = \frac{P_m}{\eta}$$

$$P_e = \frac{5.5 \text{ kW}}{0.917}$$

$$P_e = 5.99 \text{ kW}$$

En el cálculo anterior nos da que la potencia eléctrica del motor es de 5.99 kW y se conoce que la corriente nominal del motor es de 11.1A. A continuación, se podrá observar la tabla 22 donde muestra una lista de contactores comerciales por la marca siemens modelo sirius, la cual se pudo seleccionar el contactor apropiado para este trabajo, teniendo como código 3RT1316-1BB40, siendo el más próximo en la parte de fuerza y el voltaje de su bobina que se usara 24VDC

Tabla 22: Capacidad de contactores comerciales

Fuente: (Siemens, 2013)

Descripción del producto Contactor Tetrapolar Tamaño 500	Código
Contactor Tetrapolar 4NA, 7A 2.98kW (AC1), 400 60Hz, 24VAC 50/60Hz	3RT1316-1AB00
Contactor Tetrapolar 4NA, 9A 4.48kW (AC1), 400 60Hz, 110VAC 50/60Hz	3RT1316-1AF00
Contactor Tetrapolar 4NA, 12A 6.71kW (AC1), 400 60Hz, 230VAC 50/60Hz	3RT1316-1AP00
Contactor Tetrapolar 4NA, 17A 8.95kW (AC1), 400 60Hz, 400VAC 50/60Hz	3RT1316-1AV00
Contactor Tetrapolar 4NA, 12A 6.71kW (AC1), 400 60Hz, 24VDC	3RT1316-1BB40
Contactor Tetrapolar 4NA, 17A 8.95kW (AC1), 400 60Hz, 110VDC	3RT1316-1BF40

En la siguiente figura 28 se muestra un contactor igual al seleccionado en la tabla anterior con el código 3RT1316-1BB40 de la marca siemens y modelo sirius, siendo su bobina de 24VDC, el cual cuenta con 3 contactos normalmente abierto para realizar la conexión de la fuerza que vendrían a ser los 380VAC de los cuales solo se usarán 2 y un contacto auxiliar normalmente abierto.



Figura 28: Contactor 3RT1316-1BB40

Fuente: (Siemens, 2013)

4.3. Programación de la sincronización automática en el PLC y HMI existente, para la sincronización de la carga y descarga de botellas

Para su funcionamiento del proyecto a implementar, se tiene que realizar el cableado de la conexión de fuerza y parte de control para ambos sistemas como también realizar la programación del PLC (control lógico programable) lo cual es necesario utilizar un lenguaje de programación, de tal manera así se podrá comunicar con el usuario (operador), en la presente tesis el tipo de lenguaje que se va a utilizar serán los diagramas de contactos o Ladder (escalera). Ya que estos tipos de diagramas son los más utilizados en la industria debido a su fácil comprensión. El controlador PLC se fraccionará 2 entradas digitales, 2 salidas digitales y 2 entradas analógicas, las señales que realizarán el encendido de los motores serán (A0.4 y A0.6), las señales de alarma de sobrecarga de los motores serán (E1.0 y E1.2), por lo tanto, se requiere añadir un determinado diagrama ladder para cada caso.

4.3.1. Señales de salida y entrada del PLC

En la siguiente figura 29, se puede observar en la zona vertical 5 y 7 la parte de control donde especifica el código de la señal de salida del PLC, esta señal pasa por un contacto de las llaves termomagnéticas, luego va directamente a los contactores y variadores ya que estos componentes pertenecen a los motores del sistema de carga y

descarga de botellas, de tal manera así se podrá realizar su encendido correspondiente.

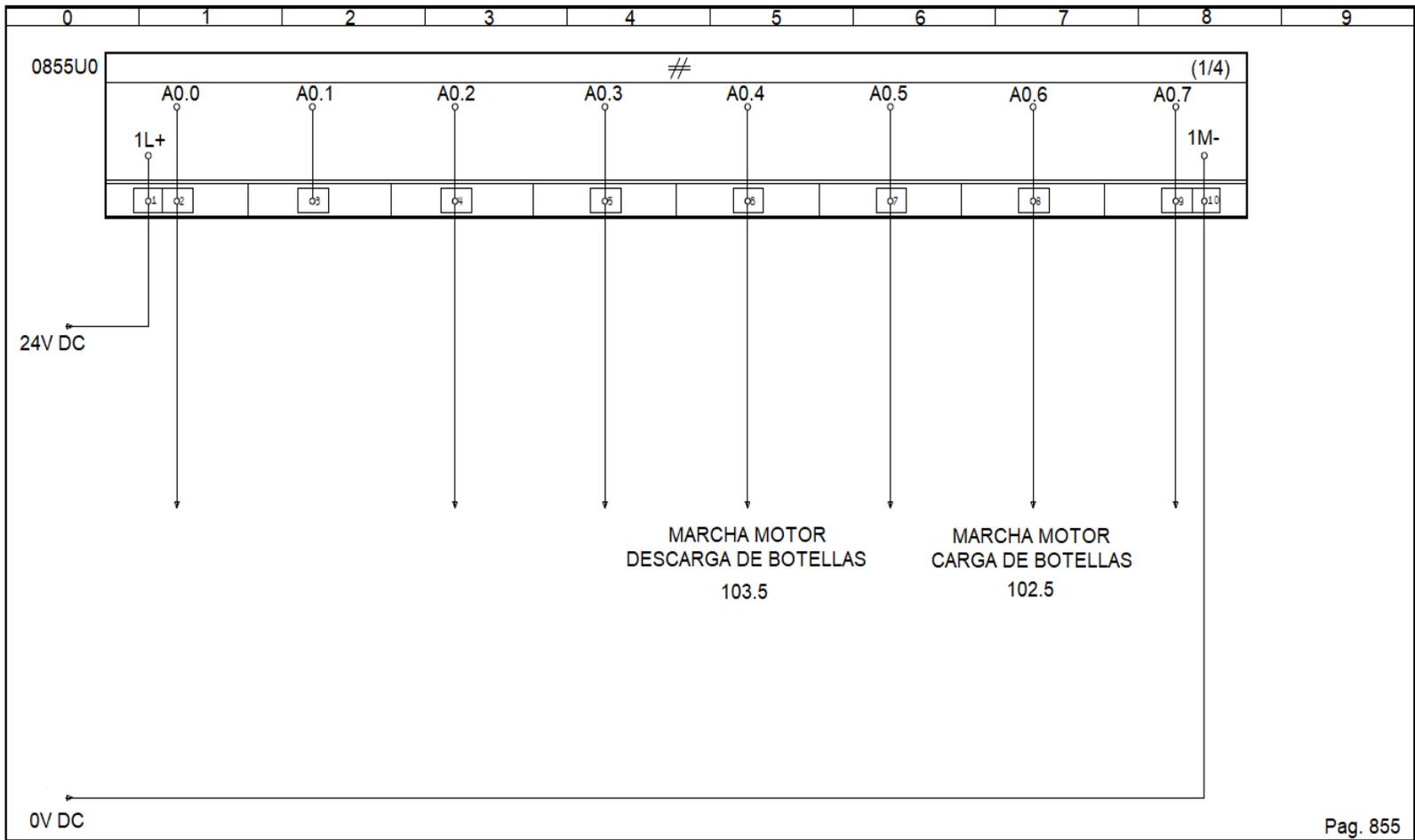


Figura 29: Señales de encendido de los motores de carga y descarga de botellas
 Fuente: Elaboración propia

En la siguiente figura 30, se puede observar en la zona vertical 1 y 4 el circuito eléctrico de control para la activación de los frenos del sistema de carga y descarga de botellas, el cual está conformado por un contacto auxiliar de la llave termomagnética y contactores, también se puede observar en la zona vertical 2 y 5 el contacto que envía la señal cuando el motor sufre una sobre carga y la llave termomagnética tiende a dispararse.

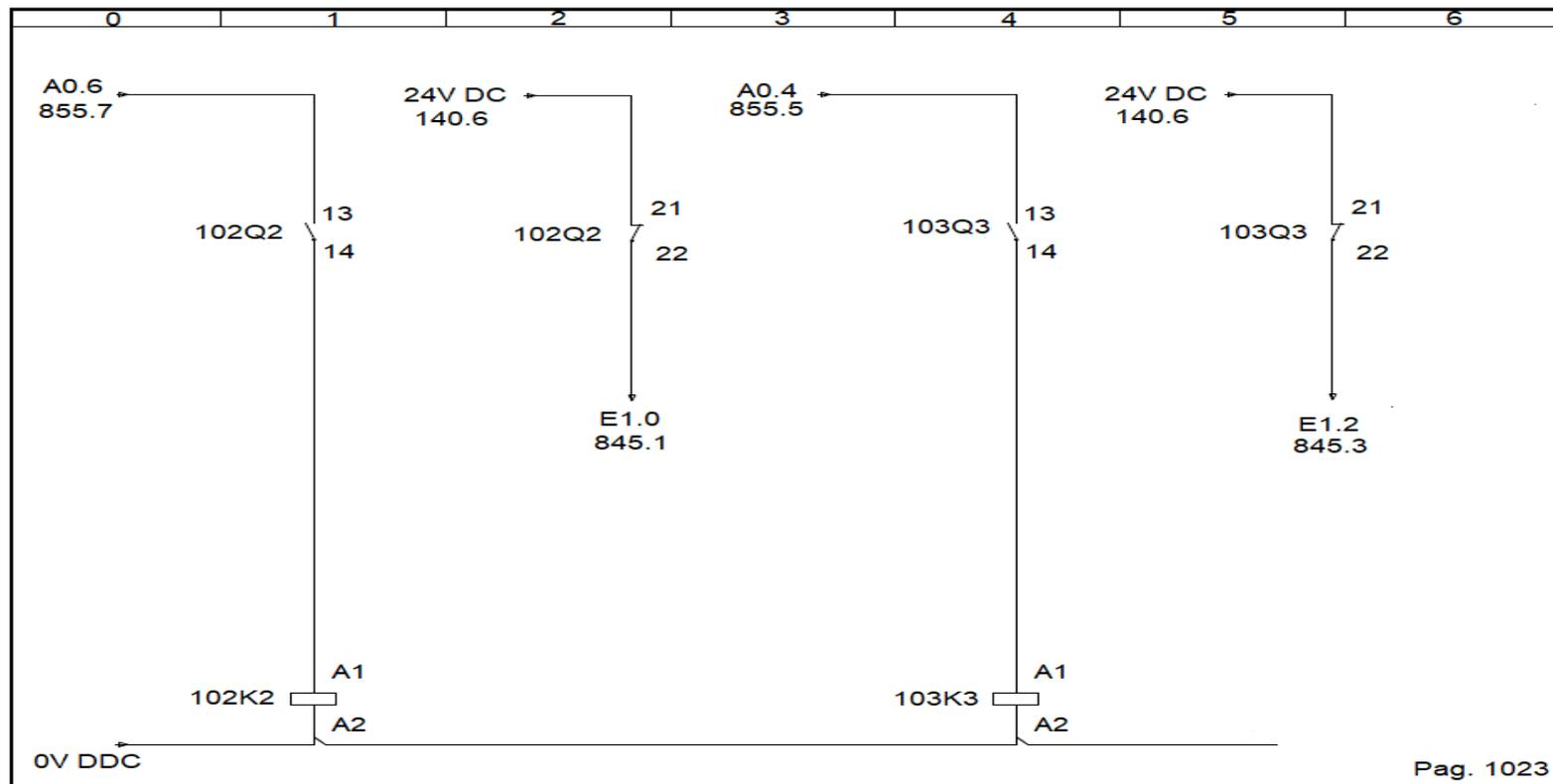


Figura 30: Circuito de control para la activación de los frenos y alarma del sistema de carga y descarga de botellas

Fuente: Elaboración propia

En la siguiente figura 31, se puede observar en la zona vertical 1 y 3 el ingreso de la señal al PLC indicando que uno de los 2 motores sufrió una sobrecarga y su protección que vendría a ser la llave termomagnética se disparó, de tal forma el maquinista lo visualizará en el HMI y procederá a hacer una inspección al motor alterado.

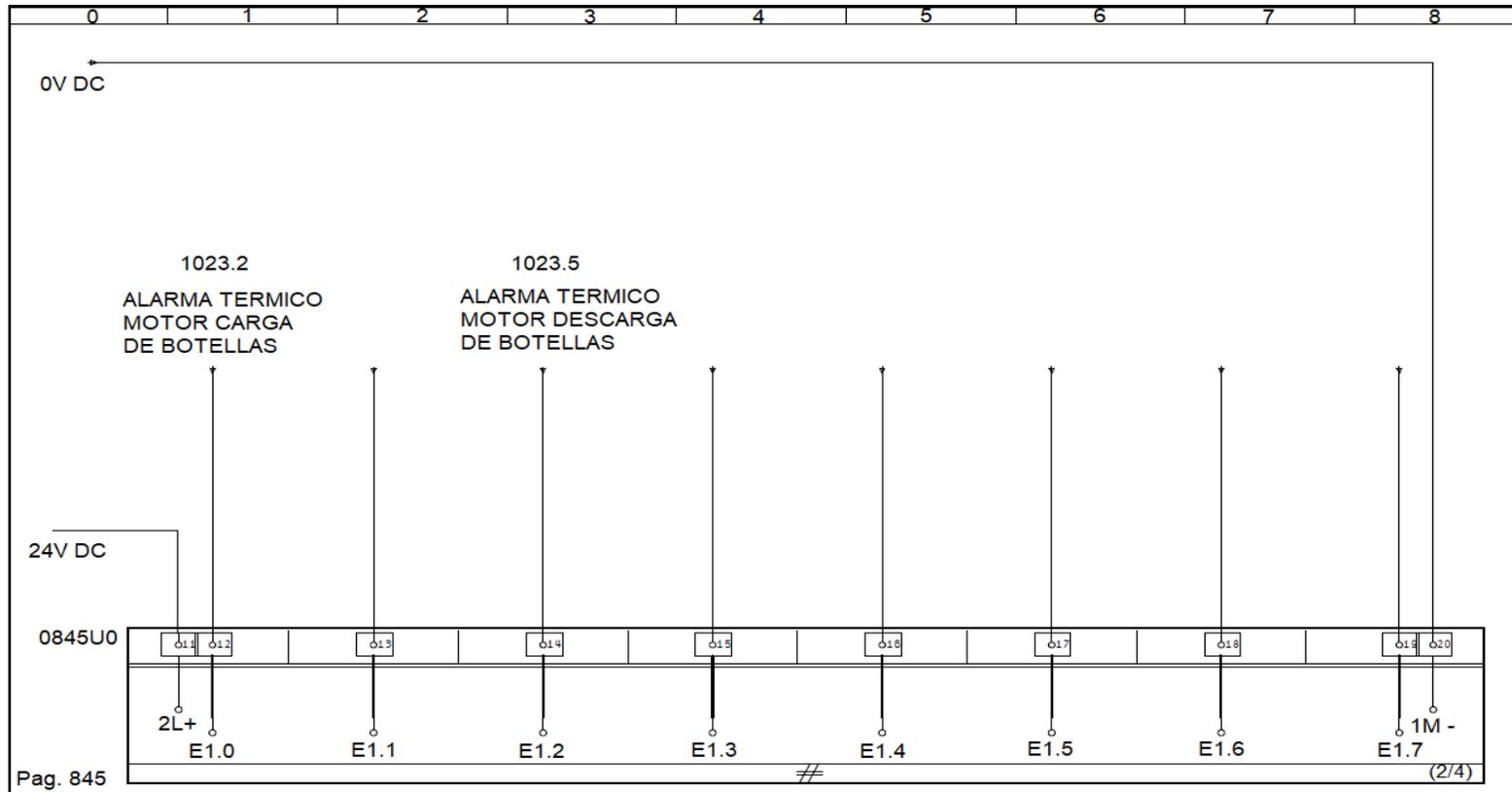


Figura 31: Señal de ingreso al PLC para activación de alarma de sobrecarga

Fuente: Elaboración propia

En la siguiente figura 32, se puede observar en la zona vertical 5 y 6 la conexión de las borneras donde hay una alimentación de 24V DC la cual es alimentada por una fuente rectificadora, dicha fuente ya se encuentra ubicada en el tablero principal la cual sirve para la alimentación de todo el sistema de control que requiera una alimentación de 24V DC. En este caso se va a tomar esté voltaje para alimentar a los 2 encoders incrementales y a las señales de alarma de sobre carga para los motores de la carga y descarga de botellas.

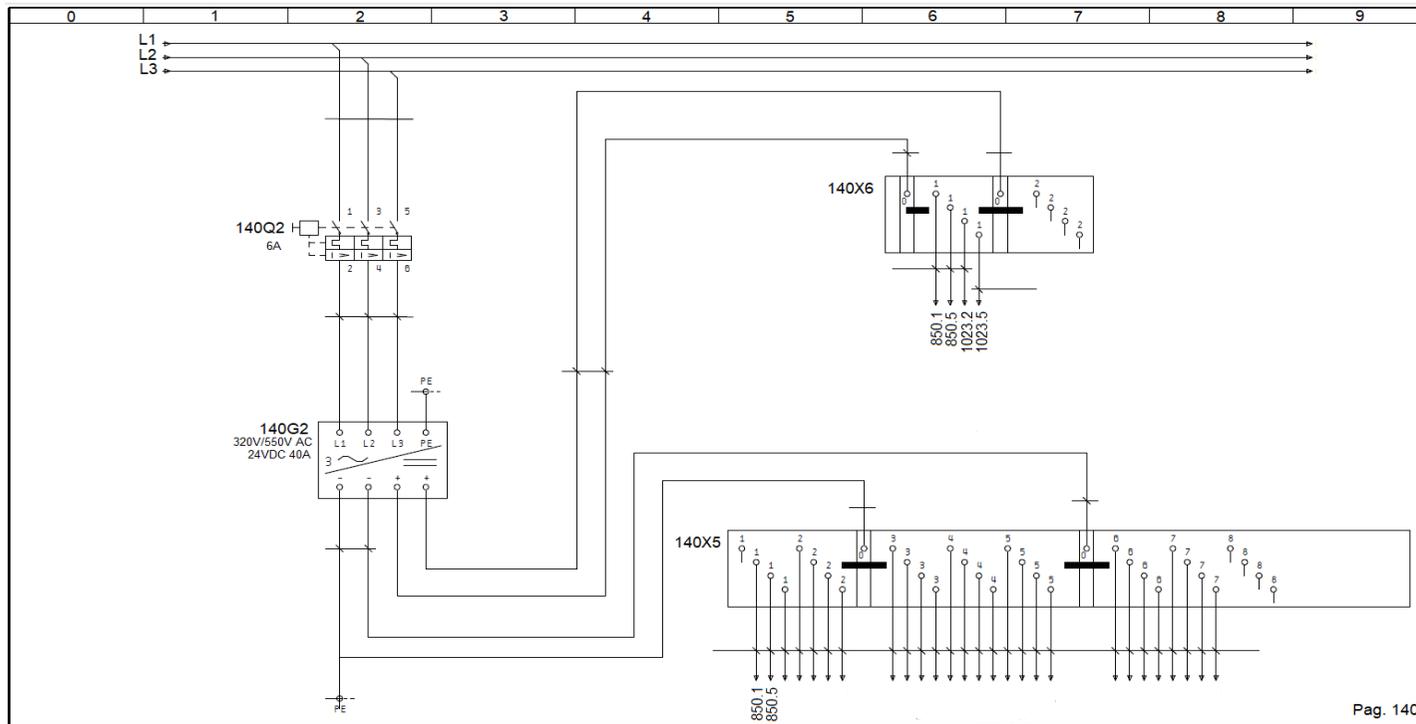


Figura 32: Conexión de la fuente rectificadora de 380V AC – 24 VDC

Fuente: (Krones, 2000)

En la siguiente figura 33, se puede observar en la zona vertical 2, 3, 6 y 7 el ingreso de las señales de los encoder al PLC, enviando una serie de pulsos continuos para cuando coincida con la cantidad de pulsos programados el motor se detenga ya que indicaría que está en su punto cero de sincronización.

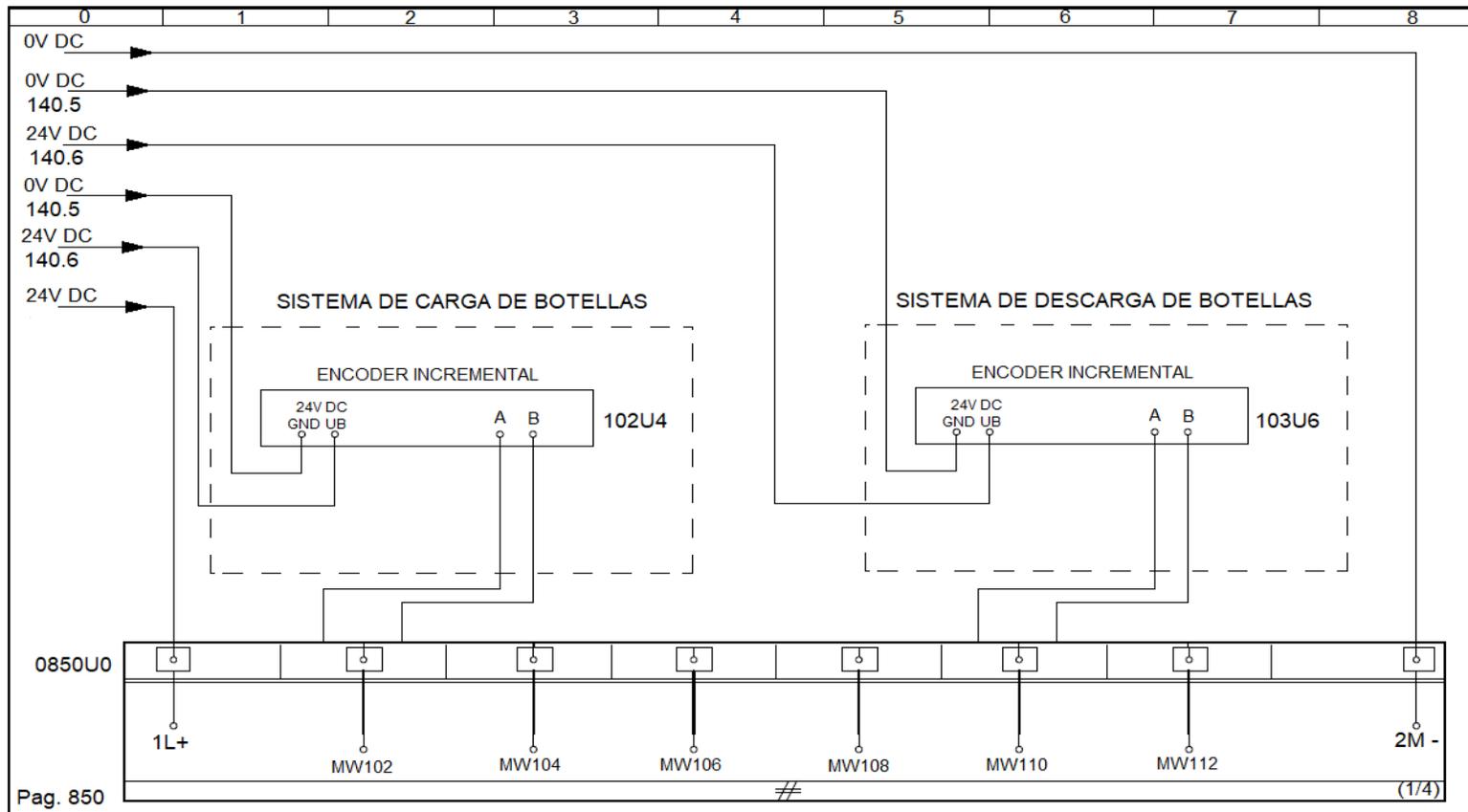


Figura 33: Conexión de encoder de sincronización en el PLC

Fuente: Elaboración propia

4.3.2. Planos de montaje de los sistemas de carga y descarga de botellas

En la siguiente figura 34, se puede observar el circuito eléctrico de fuerza del sistema de carga de botellas, el cual está conformado por su llave termomagnética y variador. Por otro lado, también se puede observar la señal que envía el PLC para el encendido de dicho sistema.

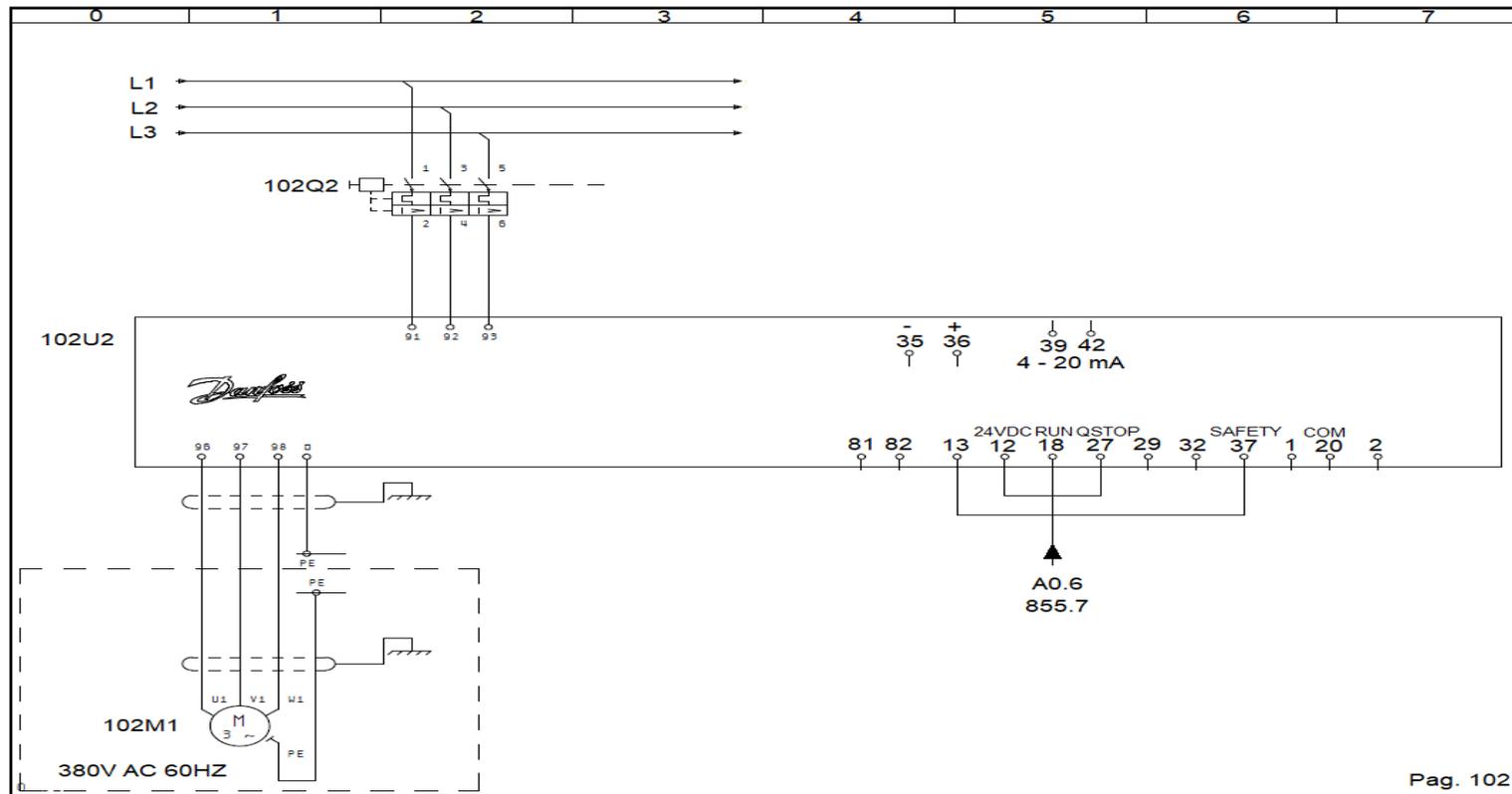


Figura 34: Circuito eléctrico de fuerza del sistema de carga de botellas

Fuente: Elaboración propia

En la siguiente figura 35, se puede observar el circuito eléctrico de fuerza del sistema de descarga de botellas, el cual está conformado por su llave termomagnética y variador. Por otro lado, también se puede observar la señal que envía el PLC para el encendido de dicho sistema.

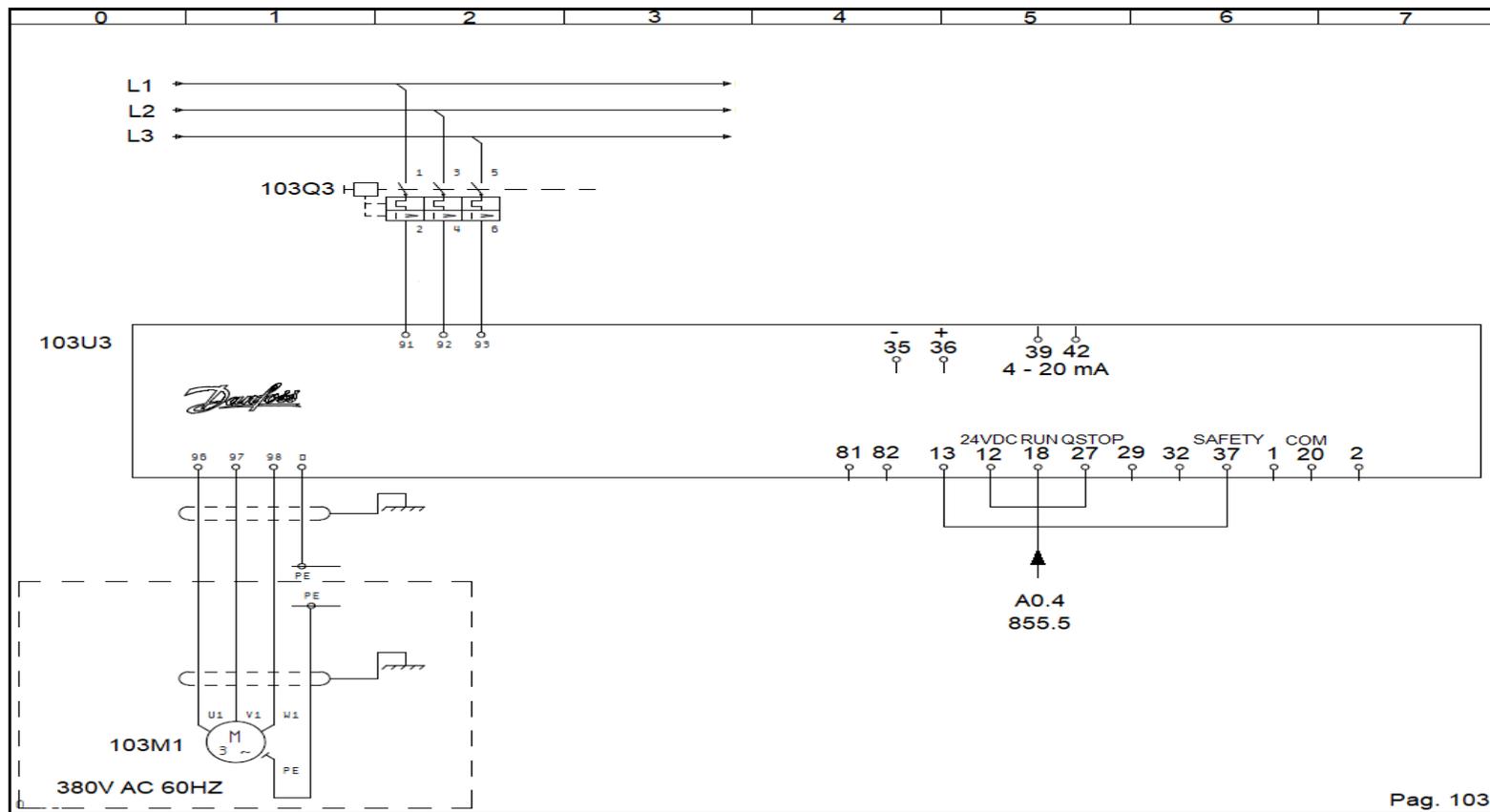


Figura 35: Circuito eléctrico de fuerza del sistema de descarga de botellas

Fuente: Elaboración propia

En la siguiente figura 36, se puede observar en la zona vertical 1 y 5 la alimentación para el rectificador del freno de los motores eléctricos, los cuales están siendo controlados por medio de un contactor siendo activado por la señal que envía el PLC para el encendido de los motores.

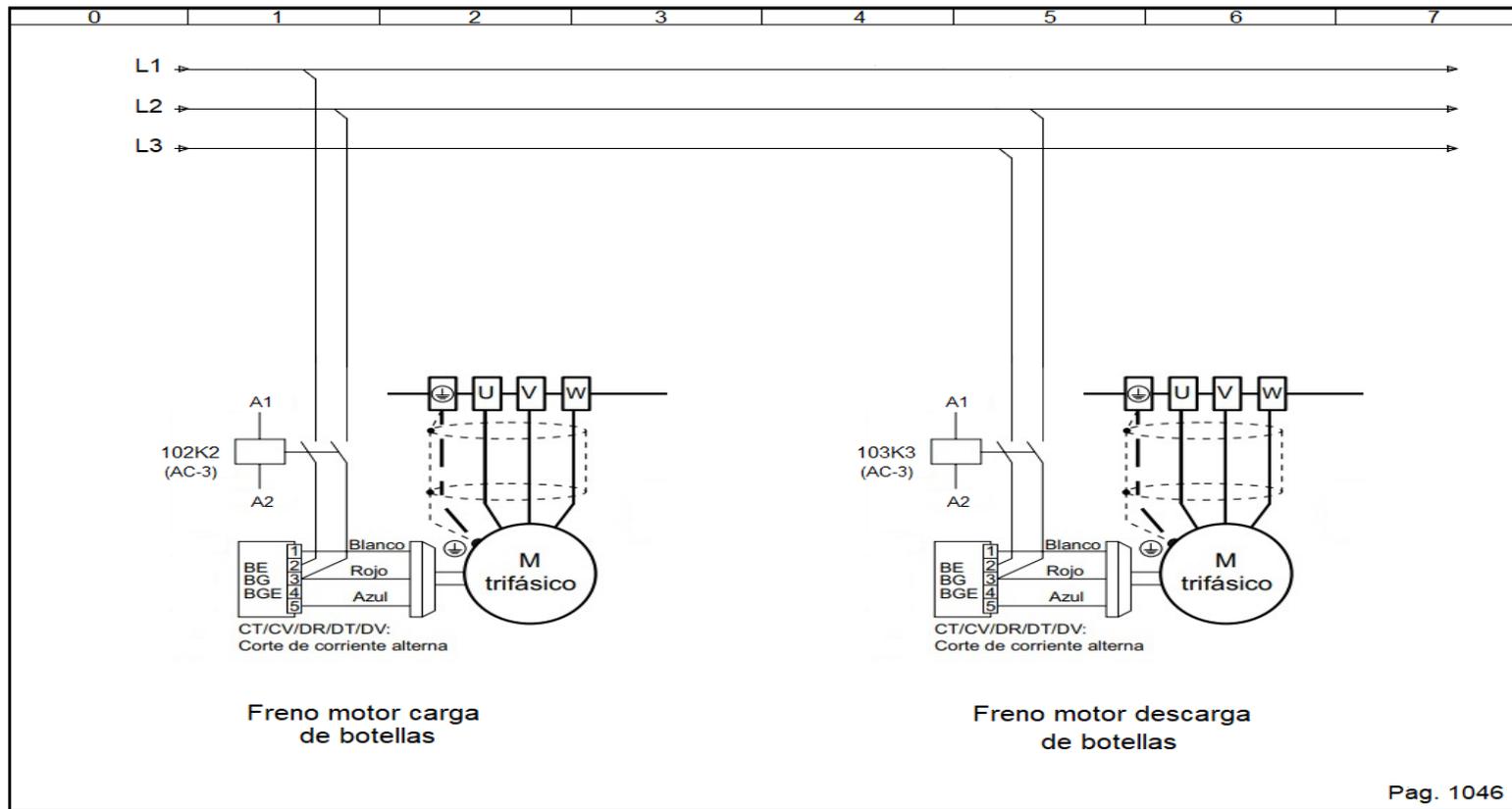


Figura 36: Conexión de los frenos de los motores eléctricos

Fuente: Elaboración propia

4.3.3. Programación de la sincronización de los sistemas de carga y descarga de botellas

En la siguiente figura 37, se puede observar la lógica de control en ladder del arranque en manual (job) de los motores carga y descarga de botellas, teniendo en cuenta que dicho arranque solo tendrá un tiempo máximo de funcionamiento de 5 segundos desde que se pulsa el start manual, siendo controlado por el temporizador T2.

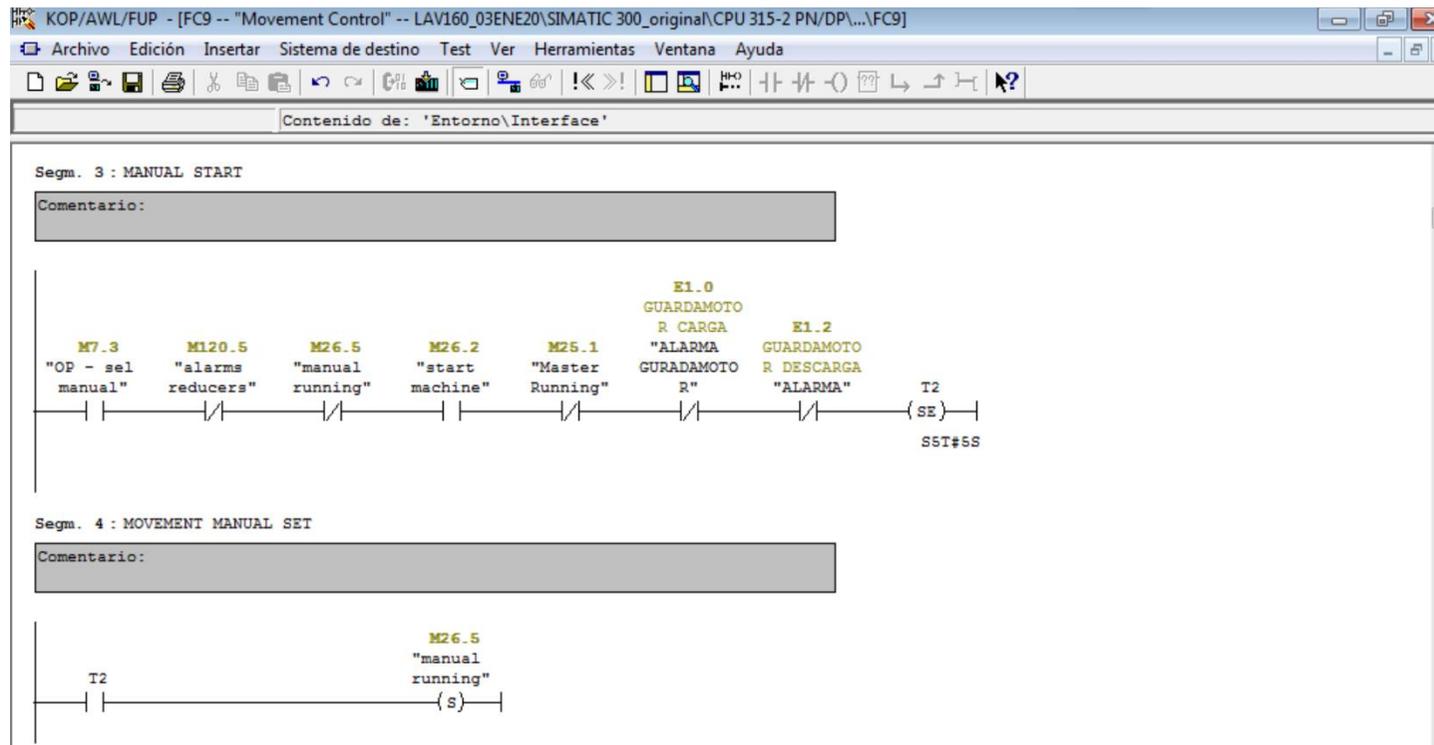


Figura 37: Lógica de control de marcha de motores en manual (job)

Fuente: Elaboración propia

En la siguiente figura 38, se puede observar la lógica de control en ladder del arranque en automático del motor de la carga de botellas.

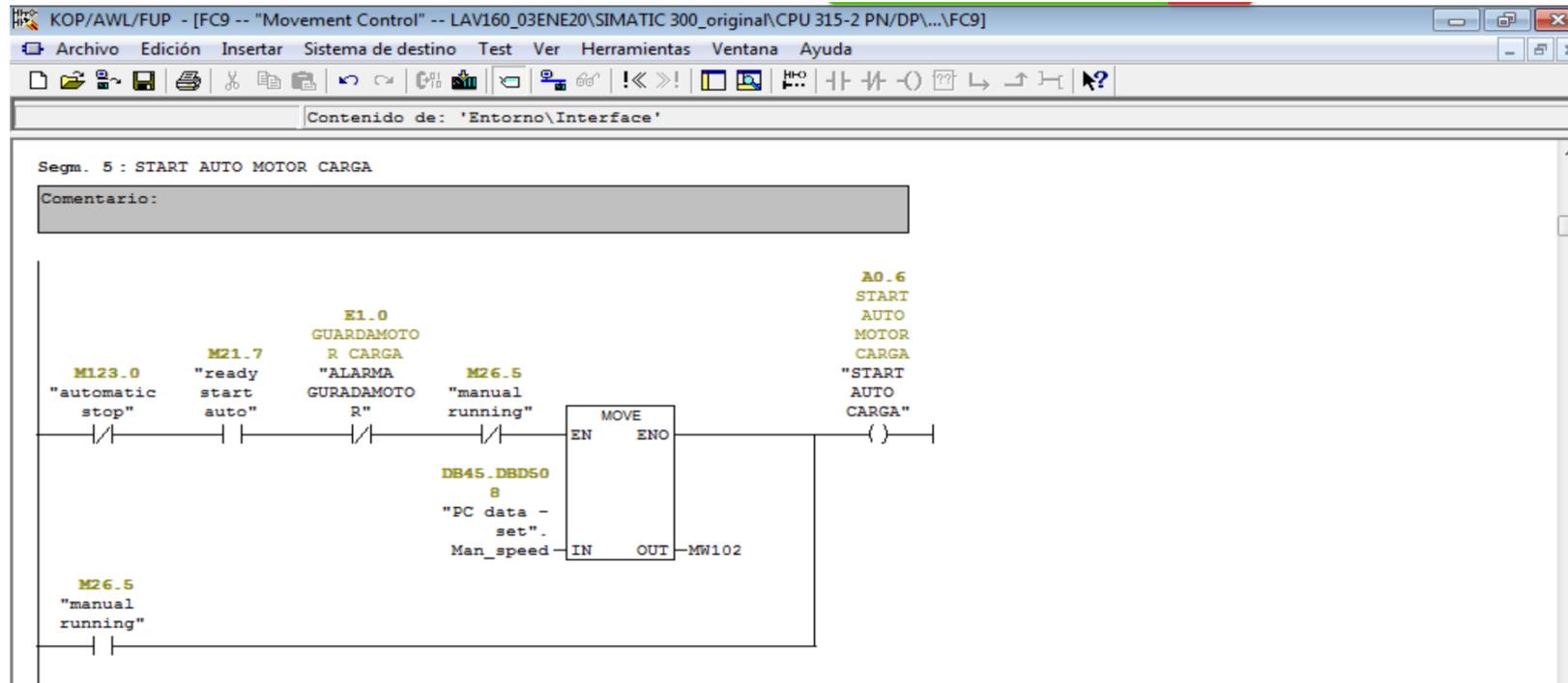


Figura 38: Lógica de control de encendido en automático del motor de la carga de botellas

Fuente: Elaboración propia

En la siguiente figura 39, se puede observar la lógica de control en ladder del apagado del motor de la descarga de botellas.

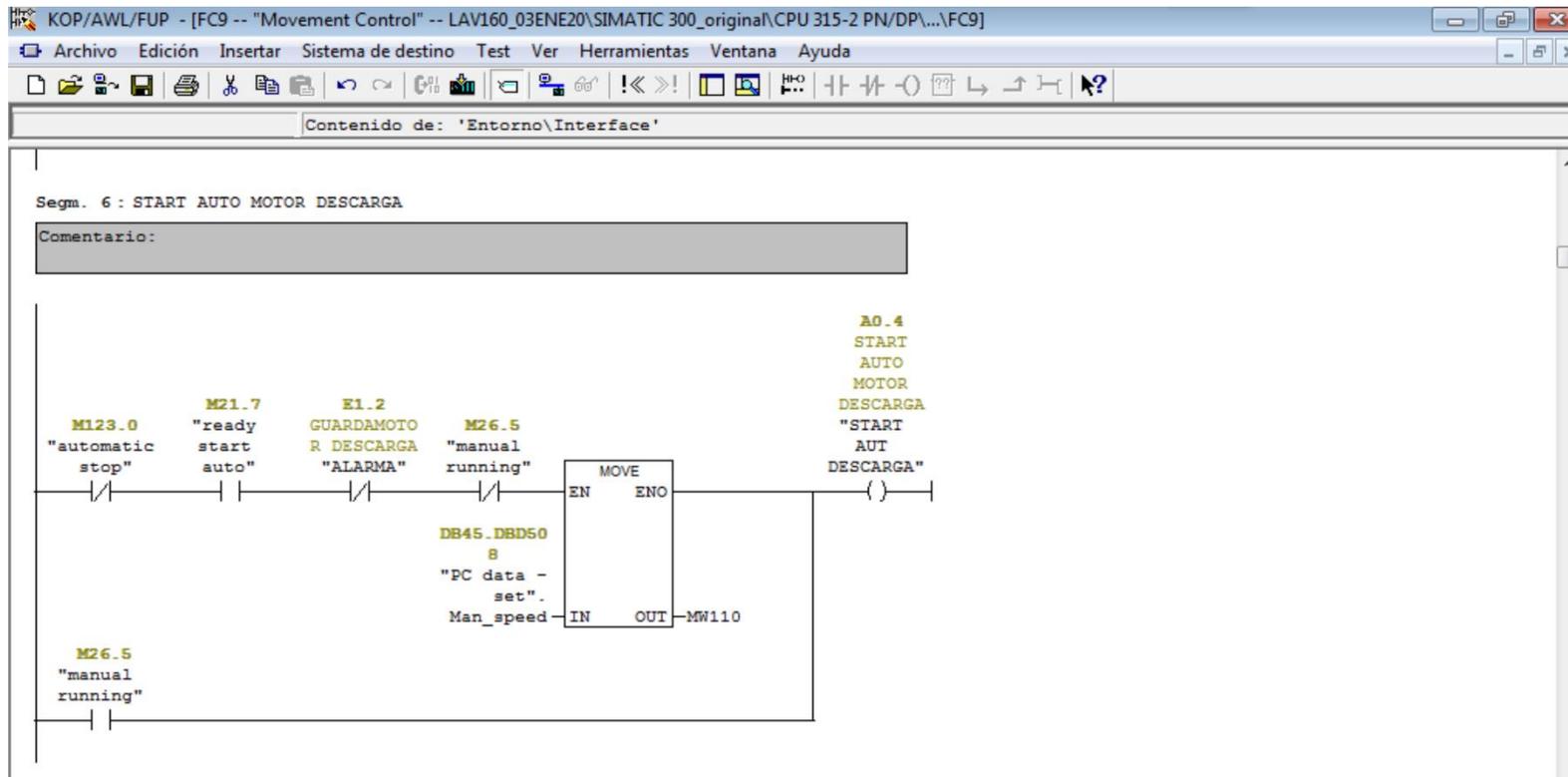


Figura 39: Lógica de control de encendido en automático del motor de la descarga de botellas

Fuente: Elaboración propia

En la siguiente figura 40, se puede observar la lógica de control en ladder de las alarmas de las llaves termomagnéticas, siendo la protección de los motores para cualquier anomalía que se presente en el trabajo.

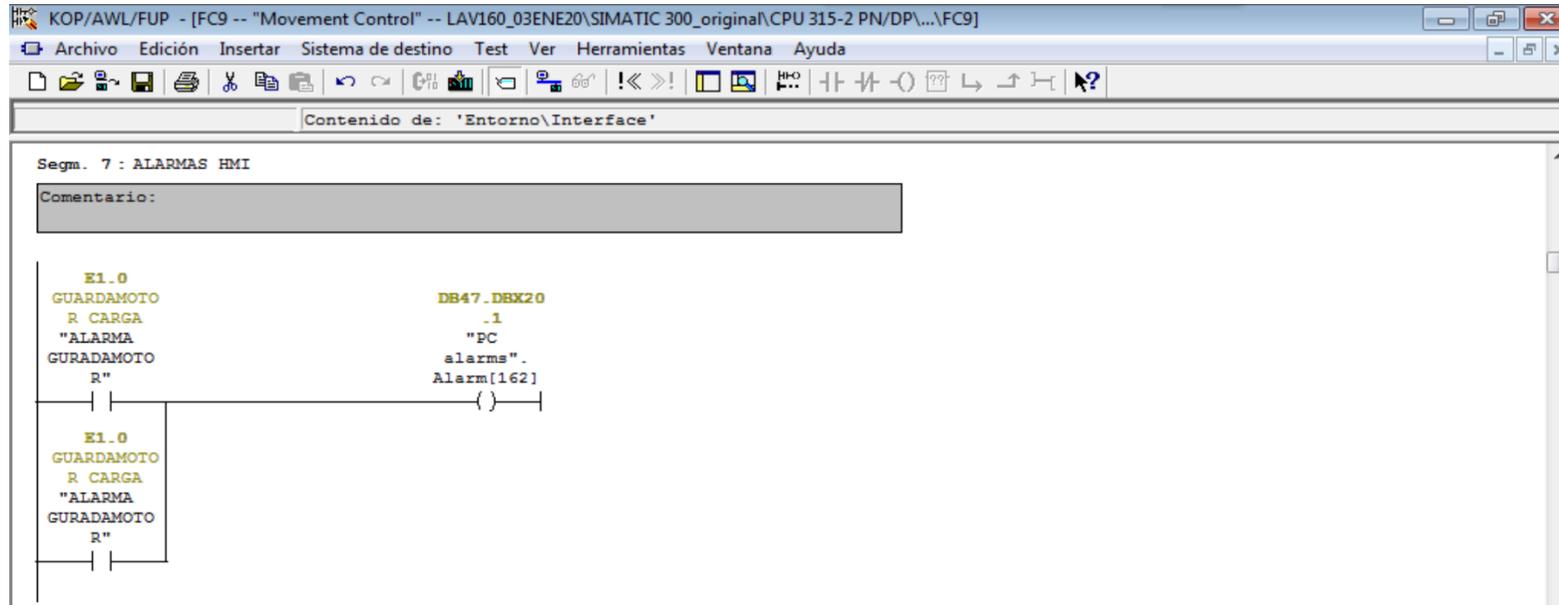
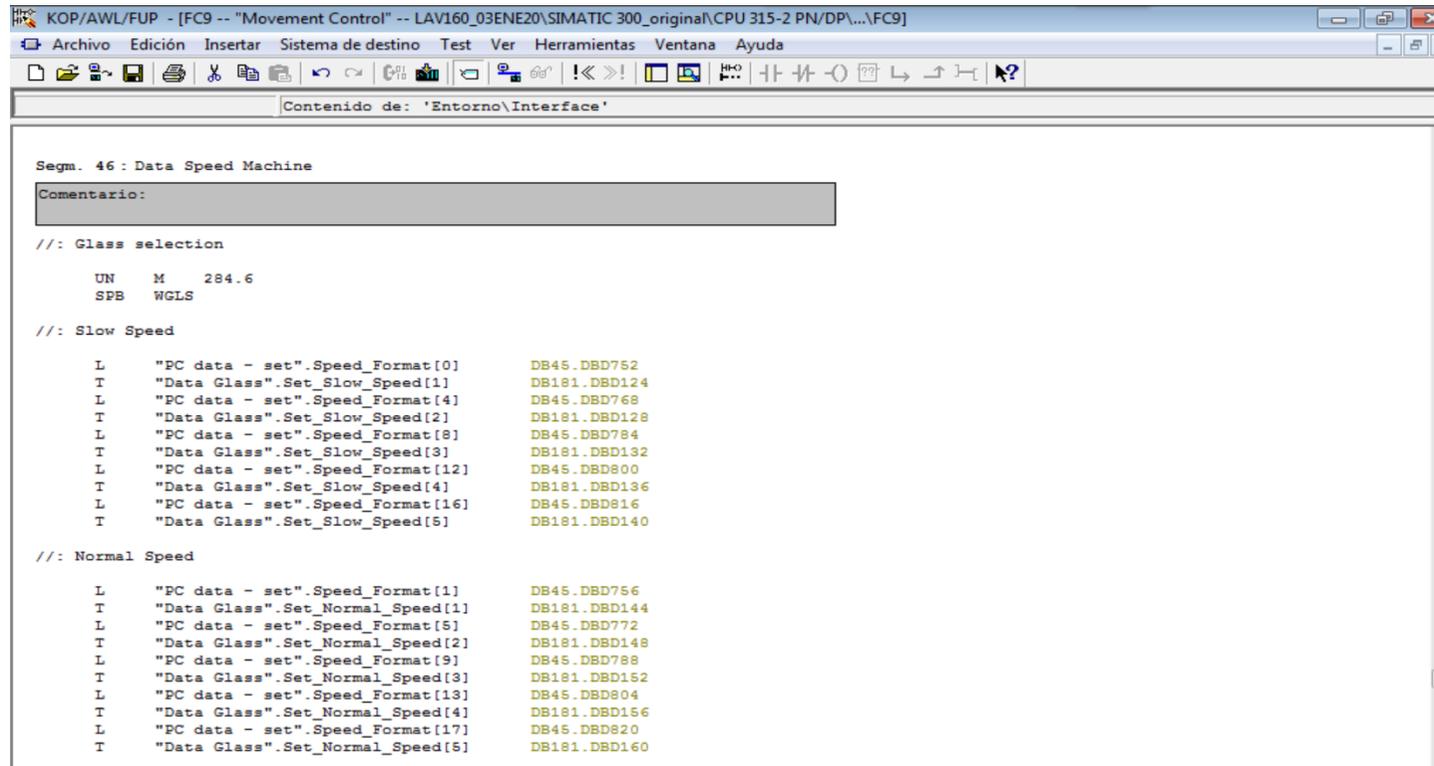


Figura 40: Lógica de control de las alarmas de las llaves termomagnéticas de la carga y descarga de botellas

Fuente: Elaboración propia

En la siguiente figura 41, se puede observar la lógica de control en AWL de las velocidades para la sincronización independientes por receta, ya que en HMI se cuenta con 6 recetas cargadas.



```
KOP/AWL/FUP - [FC9 -- "Movement Control" -- LAV160_03ENE20\SIMATIC 300_original\CPU 315-2 PN\DP\...\FC9]
Archivo Edición Insertar Sistema de destino Test Ver Herramientas Ventana Ayuda
Contenido de: 'Entorno\Interface'

Segm. 46 : Data Speed Machine
Comentario:

//: Glass selection
UN   M   284.6
SPB  WGLS

//: Slow Speed
L   "PC data - set".Speed_Format[0]      DB45.DBD752
T   "Data Glass".Set_Slow_Speed[1]      DB181.DBD124
L   "PC data - set".Speed_Format[4]      DB45.DBD768
T   "Data Glass".Set_Slow_Speed[2]      DB181.DBD128
L   "PC data - set".Speed_Format[8]      DB45.DBD784
T   "Data Glass".Set_Slow_Speed[3]      DB181.DBD132
L   "PC data - set".Speed_Format[12]     DB45.DBD800
T   "Data Glass".Set_Slow_Speed[4]      DB181.DBD136
L   "PC data - set".Speed_Format[16]     DB45.DBD816
T   "Data Glass".Set_Slow_Speed[5]      DB181.DBD140

//: Normal Speed
L   "PC data - set".Speed_Format[1]      DB45.DBD756
T   "Data Glass".Set_Normal_Speed[1]     DB181.DBD144
L   "PC data - set".Speed_Format[5]      DB45.DBD772
T   "Data Glass".Set_Normal_Speed[2]     DB181.DBD148
L   "PC data - set".Speed_Format[9]      DB45.DBD788
T   "Data Glass".Set_Normal_Speed[3]     DB181.DBD152
L   "PC data - set".Speed_Format[13]     DB45.DBD804
T   "Data Glass".Set_Normal_Speed[4]     DB181.DBD156
L   "PC data - set".Speed_Format[17]     DB45.DBD820
T   "Data Glass".Set_Normal_Speed[5]     DB181.DBD160
```

Figura 41: Lógica de control de velocidades para la sincronización por receta

Fuente: Elaboración propia

En la siguiente figura 42, se puede observar la lógica de control en ladder de la sincronización de la receta 1, ya que al momento de ser cargada la receta en el HMI ambos sistemas de carga y descarga empiezan a realizar su sincronización de forma automática realizando su detención los pulsos enviados por el encoder.

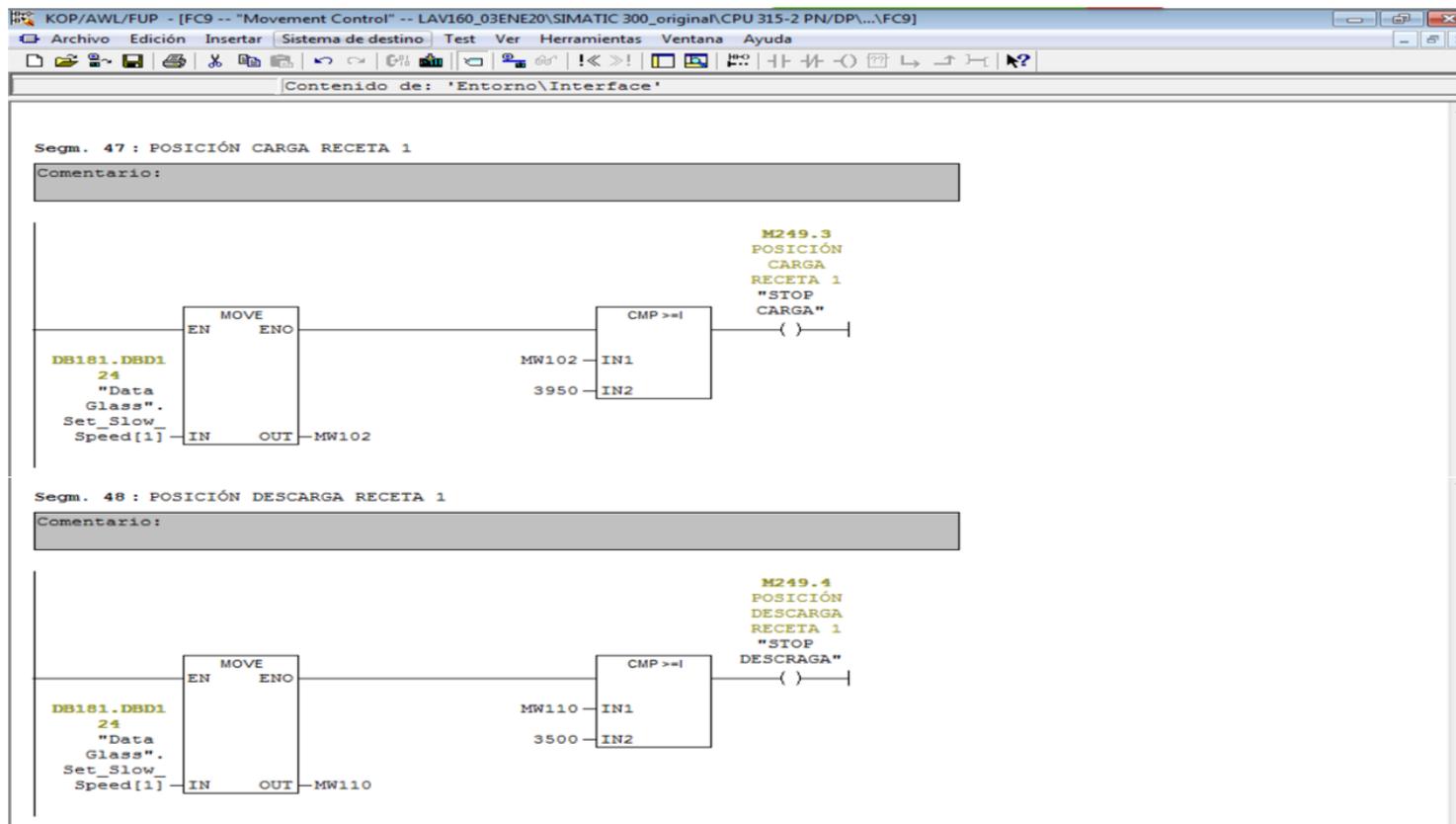


Figura 42: Lógica de control de la sincronización automática de la receta 1

Fuente: Elaboración propia

En la siguiente figura 43, se puede observar la lógica de control en ladder de la sincronización de la receta 2, ya que al momento de ser cargada la receta en el HMI ambos sistemas de carga y descarga empiezan a realizar su sincronización de forma automática realizando su detención los pulsos enviados por el encoder.

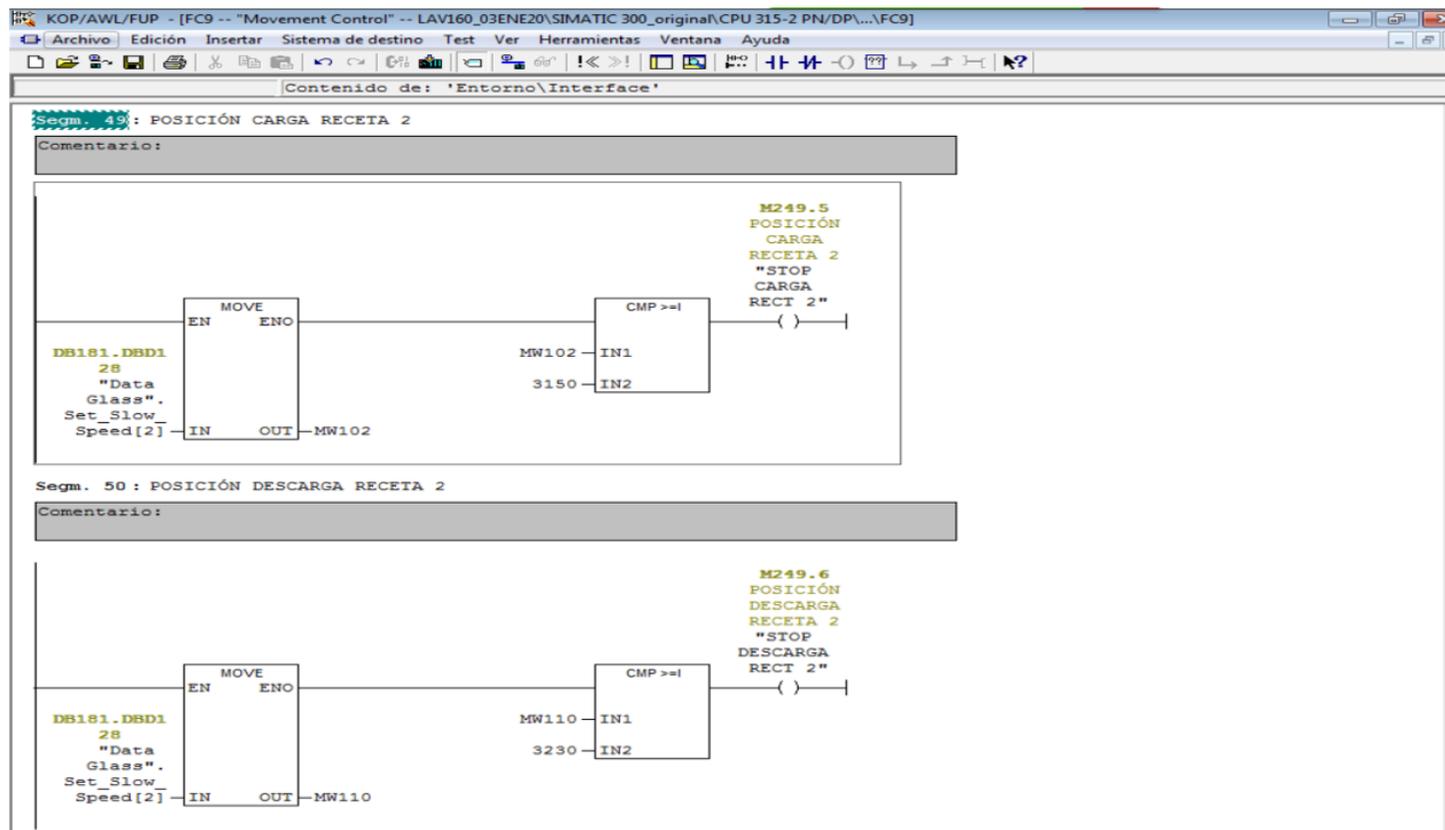


Figura 43: Lógica de control de la sincronización automática de la receta 2

Fuente: Elaboración propia

En la siguiente figura 44, se puede observar la lógica de control en ladder de la sincronización de la receta 3, ya que al momento de ser cargada la receta en el HMI ambos sistemas de carga y descarga empiezan a realizar su sincronización de forma automática realizando su detención los pulsos enviados por el encoder.

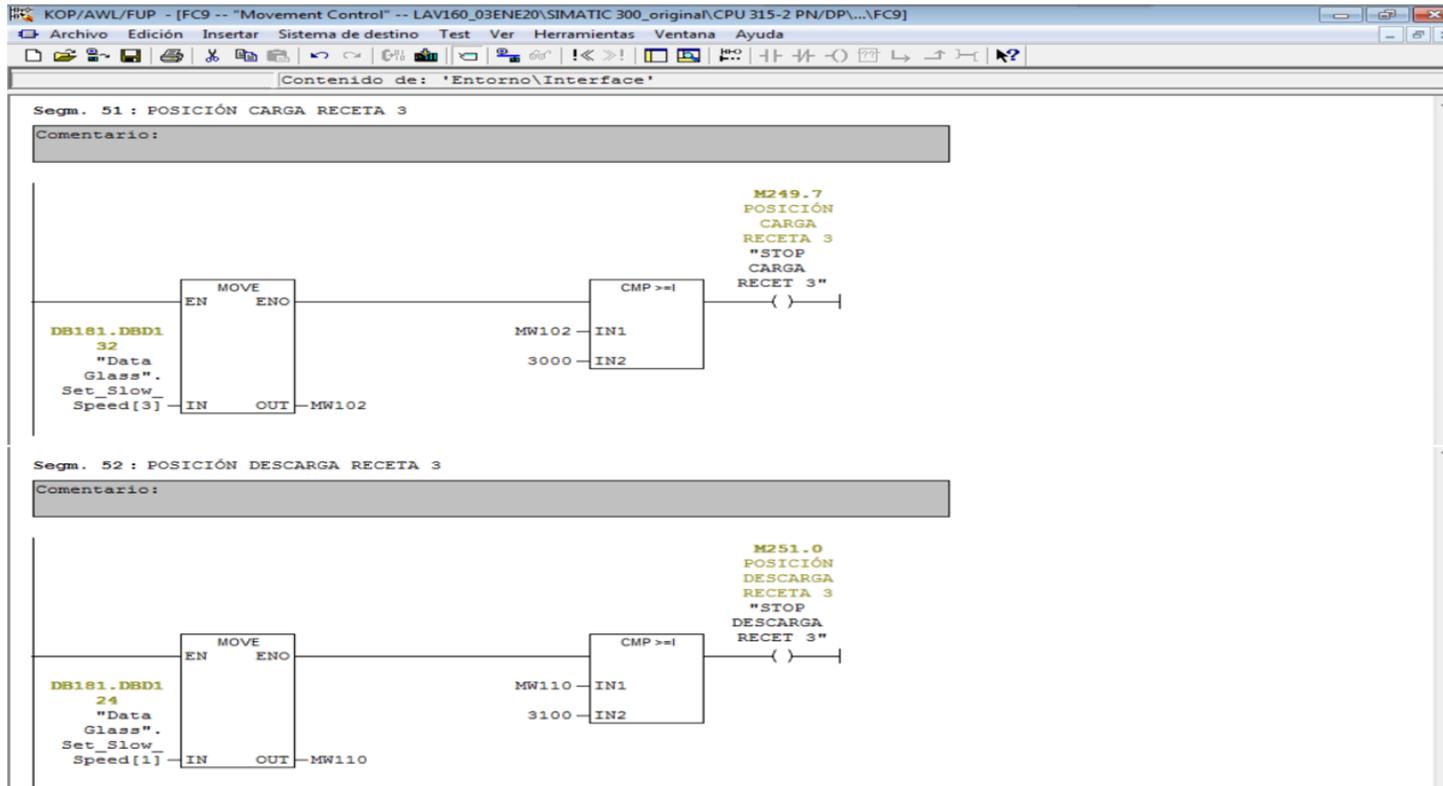


Figura 44: Lógica de control de la sincronización automática de la receta 3

Fuente: Elaboración propia

En la siguiente figura 45, se puede observar la lógica de control en ladder de la sincronización de la receta 4, ya que al momento de ser cargada la receta en el HMI ambos sistemas de carga y descarga empiezan a realizar su sincronización de forma automática realizando su detención los pulsos enviados por el encoder.

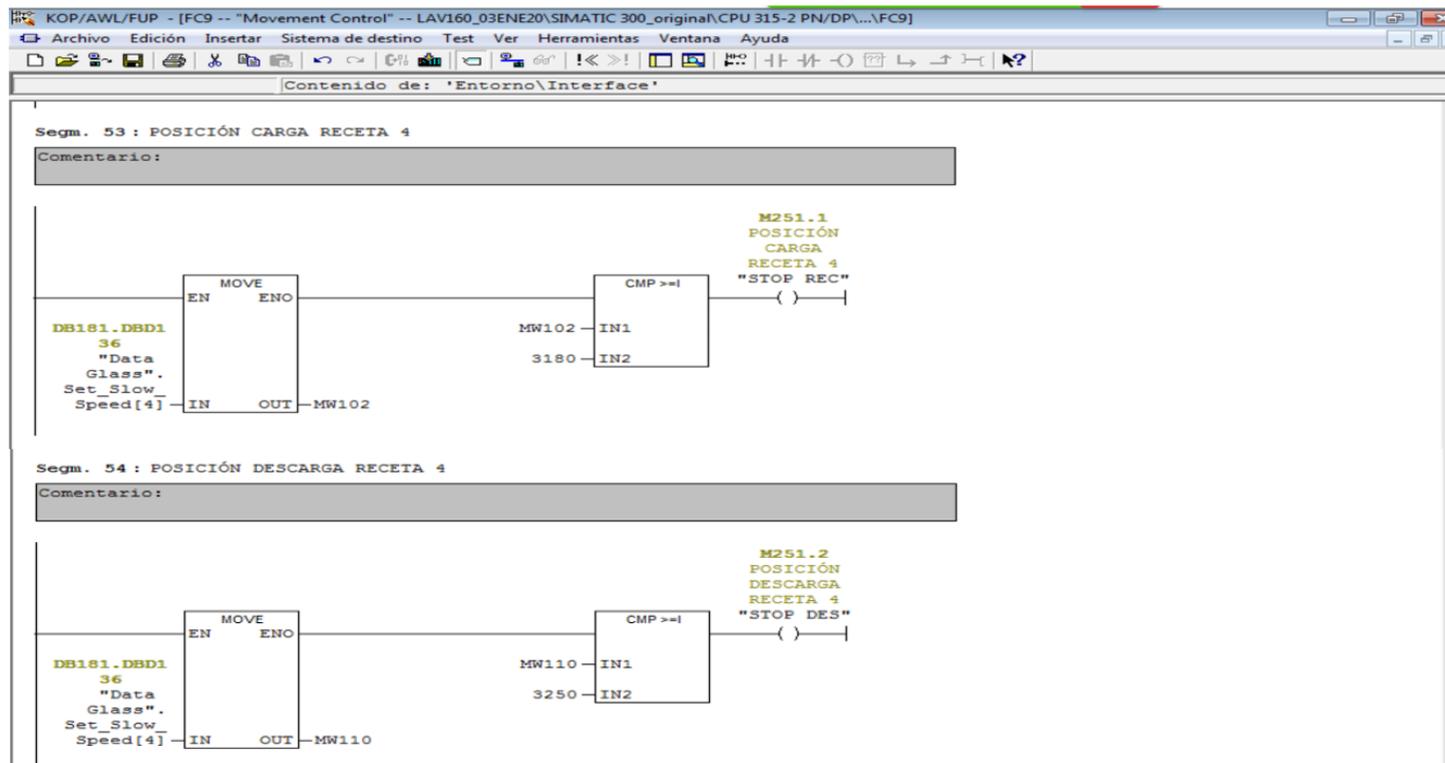


Figura 45: Lógica de control de la sincronización automática de la receta 4

Fuente: Elaboración propia

En la siguiente figura 46, se puede observar la lógica de control en ladder de la sincronización de la receta 5, ya que al momento de ser cargada la receta en el HMI ambos sistemas de carga y descarga empiezan a realizar su sincronización de forma automática realizando su detención los pulsos enviados por el encoder.

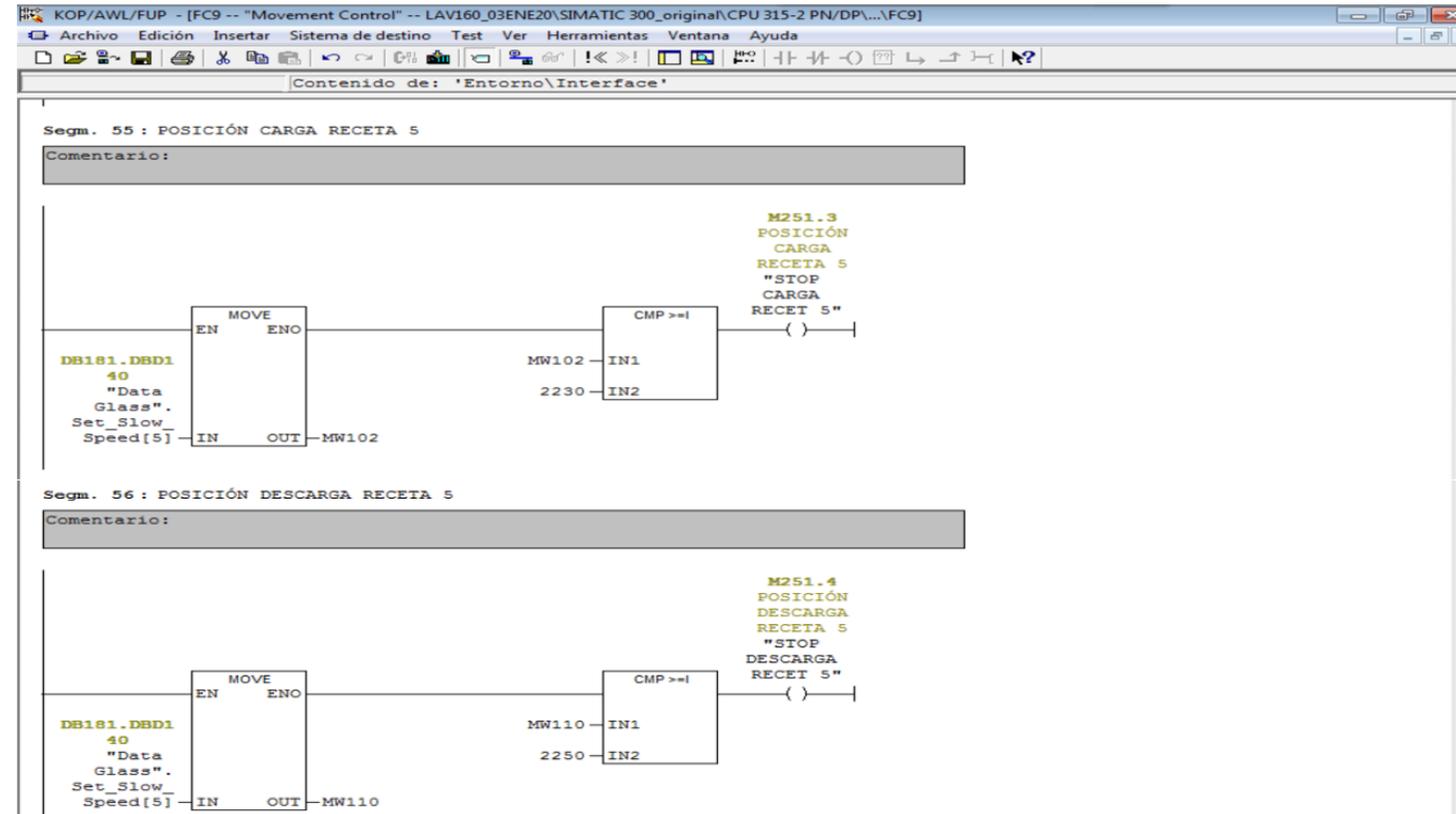


Figura 46: Lógica de control de la sincronización automática de la receta 5

Fuente: Elaboración propia

4.3.4. Programación del HMI

En la siguiente figura 47, se puede observar las recetas cargadas en el HMI de la máquina, la cual el maquinista puede seleccionar el formato que se va a producir y la máquina realizará su sincronización de forma automática, en este caso sólo se crearon las recetas de los formatos con los que trabaja la máquina.

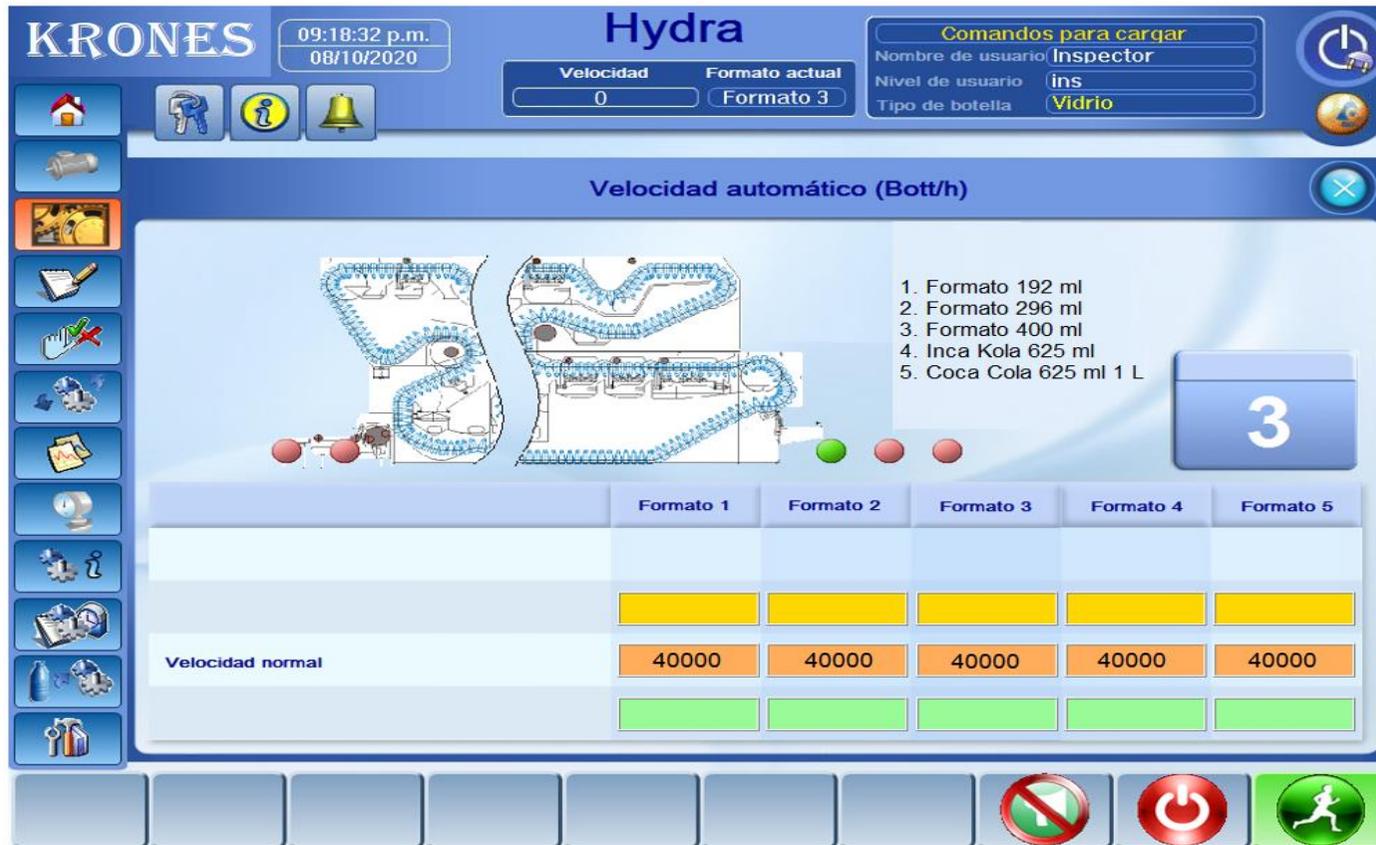


Figura 47: Recetas creadas en el HMI de la máquina Hidrojet

Fuente: Elaboración propia

En la siguiente figura 48, se puede observar en el HMI de la máquina la ubicación de los 3 motores con su numeración correspondientes por los cual está compuesto todo el mecanismo de la máquina para la realización de un trabajo y sincronizado. motor principal el número 01, motor del sistema de carga de botellas el número 02 y el motor del sistema de descarga de botellas el número 03.

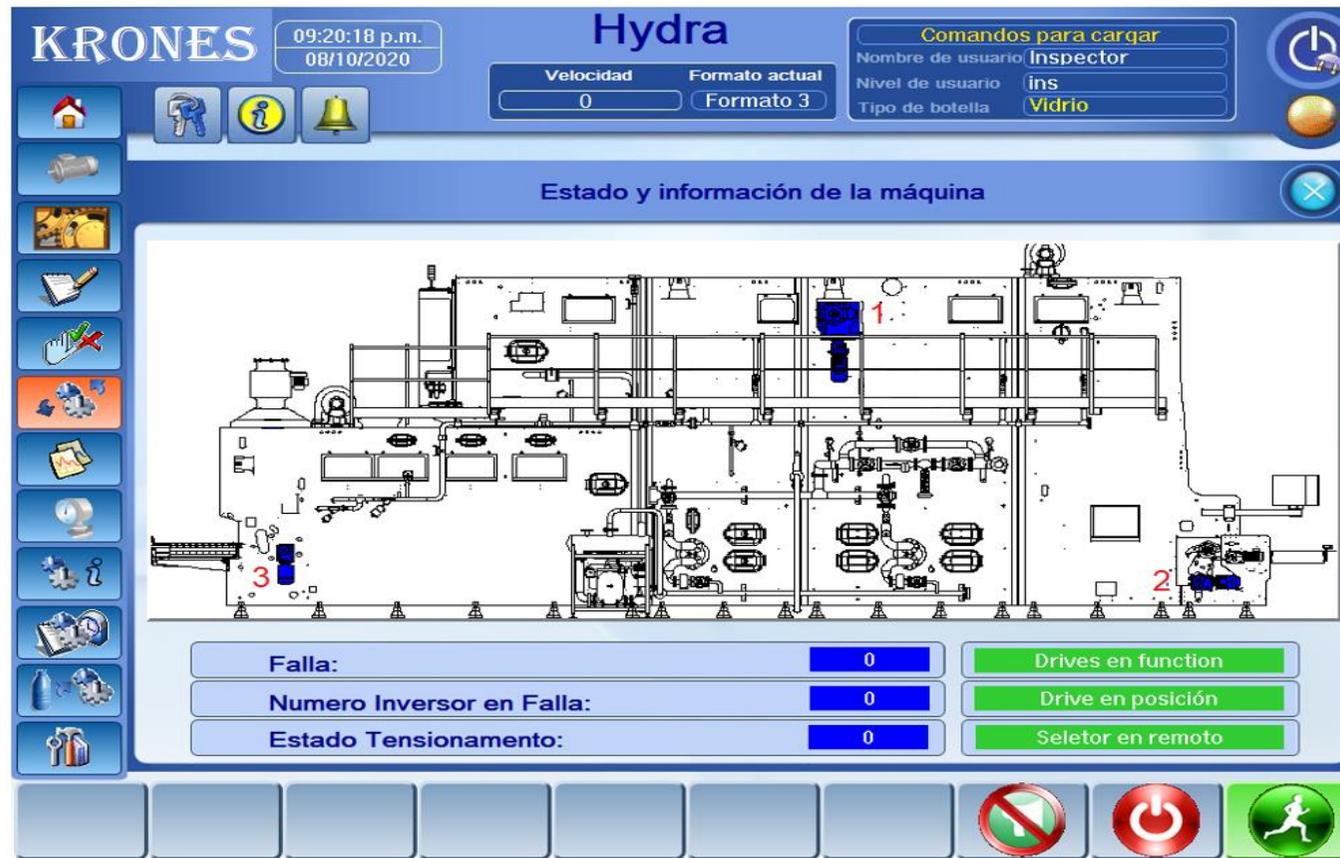


Figura 48: Ubicación de motores en el HMI de la máquina Hidrojet

Fuente: Elaboración propia

4.4. Proyección de mejora del diseño propuesto

Para el desarrollo de este objetivo, se realizó las consultas respectivas a los especialistas de la máquina, supervisores de mantenimiento, supervisores de producción y maquinistas, cuanto debería de ser el tiempo de regulación de los sistemas de carga y descarga de botellas automatizados, paradas no programadas y el porcentaje de desvío de calidad en la máquina, lo cual nos respondieron lo que se mencionará en la siguiente tabla 23.

Tabla 23: Tiempo de regulación, paradas no programadas y calidad

Fuente: Elaboración propia

MÁQUINA HIDROJET				
SISTEMAS	PERSONAL	TIEMPO DE REGULACIÓN (MIN)	PARADA NO PROGRAMADAS (MIN)	DESVÍO DE LA CALIDAD ESTANDAR (%)
CARGA Y	Especialistas	1	0	0.1
DESCARGA	Mantenimiento	4	0	0.1
DE	Producción	5	0	0.1
BOTELLAS	Maquinistas	10	0	0.1
PROMEDIO		5	0	0.1

En la tabla 23, se muestran los tiempos promedios de regulación y paradas no programadas del equipo, así como también los porcentajes de desvío de la calidad estándar para una empresa de clase mundial, considerando que estos serían los valores esperados para la operación de los sistemas de carga y descarga de botellas cuando ya estén automatizados. El porcentaje de desvío de la calidad se mejoraría un 0.1% ya que en la actualidad es 0.2%, de tal manera se tendría menos merma de envases lo cual implica un menor costo promedio ya que cada envase tomado como merma tiene que ser repuesto con envases nuevos.

Así como se menciona en la tesis de Hidalgo (2013), llego a implementar un sistema automatizado para el tinturado de telas en la empresa TEIMSA S.A, llegando a disminuir el promedio de una hora en el proceso que realizaban de forma manual anteriormente, llegando a demostrarlo con cuadros de tiempos del

antes y después de la implementación notándose una gran diferencia de cada proceso que realizan, por otro lado también llegó a mejorar su calidad en sus productos, por lo mismo que los tiempos ya eran mucho más exactos para cada tipo de material.

Por otro lado Altamirano (2019), realizó un diseño para mejorar el control en la dosificación de la materia prima en el área de mezclado de alimentos balanceados, ya que tenían el problema en la variación de la cantidad que se abastecía en la mezcladora por el motivo de que los operarios lo realizaban de forma manual, con el proyecto propuesto llegó a identificar que mejoraría la calidad en el mezclado de la materia prima final, pero no llegó a realizar un análisis de post implementación donde se pueda visualizar en cuanto fue el porcentaje que llegaría a mejorar con su diseño propuesto, menos llegó a identificar si podría mejorar otro indicador ya que todo diseño que implica el tema de automatización llega a mejorar más indicadores como se muestra en la tesis de Hidalgo (2013), donde se llegaron a minimizar los tiempos de trabajo y se mejoró la calidad del producto final.

A continuación, se mostrarán las tablas 24 y 25, donde se tomará parte de la información de los meses de agosto y setiembre, con la única diferencia que se le incluirán los tiempos de regulación, paradas no programadas y porcentaje de calidad, las cuales sería el promedio que brindaron los especiales a los cuales se les consultó.

Tabla 24: Resumen de producción del mes de agosto post implementación

Fuente: Tabla 04 y tabla 23

FECHA	TIEMPO DE PRODUCCIÓN (min)	TIEMPO DE REGULACIÓN (min)	PARADA NO PROGRAMADA (min)	ENVASES BUENOS	MERMA DE ENVASES	FORMATO
01/08/2020	Mantenimiento Preventivo					
03/08/2020	763	5	0	496703	497	IK 192 ml
04/08/2020	752	5	0	492307	493	CC 1000 ml
05/08/2020	391	5	0	252148	252	CC 400 ml
06/08/2020	714	5	0	461138	462	IK 296 ml
07/08/2020	469	5	0	299300	300	IK 625 ml
08/08/2020	Mantenimiento Preventivo					
10/08/2020	882	5	0	576223	577	IK 400 ml
11/08/2020	915	5	0	605394	606	IK 1000 ml
12/08/2020	778	5	0	502697	503	CC192 ml
13/08/2020	795	5	0	525474	526	CC 296 ml
14/08/2020	570	5	0	371628	372	CC 625 ml
15/08/2020	Mantenimiento Preventivo					
17/08/2020	601	5	0	400000	400	CC 1000 ml
18/08/2020	463	5	0	296903	297	FN 192 ml
19/08/2020	419	5	0	263336	264	FN 400 ml
20/08/2020	352	5	0	220579	221	FN 296 ml
21/08/2020	594	5	0	381218	382	IK 625 ml
22/08/2020	Mantenimiento Preventivo					
24/08/2020	322	5	0	208591	209	SP 400 ml
25/08/2020	696	5	0	453946	454	IK 1000 ml
26/08/2020	912	5	0	604195	605	SP 192 ml
27/08/2020	707	5	0	458341	459	SP 296 ml
28/08/2020	474	5	0	301298	302	CC 625 ml
29/08/2020	429	5	0	283316	284	CC 192 ml
31/08/2020	641	5	0	415984	416	CC 296 ml

Tabla 25: Resumen de producción del mes de setiembre post implementación

Fuente: Tabla 05 y tabla 23

FECHA	TIEMPO DE PRODUCCIÓN	TIEMPO DE REGULACIÓN (Min)	PARADA NO PROGRAMADA (Min)	ENVASES BUENOS	MERMA DE ENVASES	FORMATO
01/09/2020	848	5	0	562637	563	IK 1000 ml
02/09/2020	735	5	0	485514	486	IK 400 ml
03/09/2020	361	5	0	240160	240	IK 192 ml
04/09/2020	468	5	0	298901	299	IK 296 ml
05/09/2020	441	5	0	288112	288	CC 625 ml
07/09/2020	Mantenimiento Preventivo					
08/09/2020	640	5	0	415584	416	CC 400 ml
09/09/2020	535	5	0	341658	342	CC 625 ml
10/09/2020	462	5	0	296503	297	CC 296 ml
11/09/2020	801	5	0	527872	528	CC 192 ml
12/09/2020	612	5	0	404395	405	CC 1000 ml
14/09/2020	801	5	0	527872	528	IK 625 ml
15/09/2020	Mantenimiento Preventivo					
16/09/2020	863	5	0	568631	569	SP 400 ml
17/09/2020	220	5	0	135864	136	SP192 ml
18/09/2020	418	5	0	262937	263	FN 296 ml
19/09/2020	675	5	0	445554	446	IK 1000 ml
21/09/2020	220	5	0	135864	136	IK 625 ml
22/09/2020	Mantenimiento Preventivo					
23/09/2020	670	5	0	443556	444	SP 296 ml
24/09/2020	544	5	0	361238	362	CC 625 ml
25/09/2020	315	5	0	205794	206	FN 400 ml
26/09/2020	339	5	0	215384	216	CC 1000 ml
28/09/2020	850	5	0	563436	564	FN 192 ml
29/09/2020	774	5	0	501098	502	IK 296 ml
30/09/2020	Mantenimiento Preventivo					

4.4.1. Cálculo de indicadores del mes de agosto post implementación

En el siguiente cálculo se utilizaron las Ecuaciones 03, 04, 05 y 06 que corresponden a los indicadores de disponibilidad, rendimiento, calidad y efectividad. Por lo cual se están considerando los turnos a los cuales se realizó la producción tomando un tiempo de 480 min por turno, con un tiempo de producción planificado igual al tiempo que se consideró por turno ya que la empresa no realiza una parada de línea en el proceso de producción para el refrigerio, por lo mismo que entre maquinistas se cubren a la hora del refrigerio. A continuación, se detallará como se calculan los indicadores ya mencionados del primer día de producción del mes de agosto, luego se presentará una tabla resumen brindando los resultados por día de todo el mes.

1. OEE del día 03/08

$$\text{Disponibilidad} = \frac{960 - 5}{960} \times 100\% = 99.48 \%$$

$$\text{Rendimiento} = \frac{0.0015 \times 497200}{955} \times 100\% = 78.09 \%$$

$$\text{Calidad} = \frac{496703}{497200} \times 100\% = 99.9 \%$$

$$\text{Efectividad} = (0.9948 \times 0.7809 \times 0.999) 100\% = 77.61 \%$$

- A continuación, en la tabla 26 se podrá observar el porcentaje de cada indicador de forma diaria de todo el mes de agosto, lo cual se calcularon conforme el detalle del ejercicio anterior que pertenece al día 03 de agosto tras la post implementación.

Tabla 26: Porcentaje diario de los indicadores correspondiente al mes de agosto post implementación

Fuente: Propia

FECHA	DISPONIBILIDAD	RENDIMIENTO	CALIDAD	EFFECTIVIDAD
03/08/2020	99.48%	78.09%	99.90%	77.61%
04/08/2020	99.48%	77.40%	99.90%	76.92%
05/08/2020	98.96%	79.71%	99.90%	78.80%
06/08/2020	99.48%	72.50%	99.90%	72.05%
07/08/2020	98.96%	94.61%	99.90%	93.53%
10/08/2020	99.48%	90.60%	99.90%	90.03%
11/08/2020	99.48%	95.18%	99.90%	94.59%
12/08/2020	99.48%	79.04%	99.90%	78.55%
13/08/2020	99.48%	82.62%	99.90%	82.11%
14/08/2020	99.48%	58.43%	99.90%	58.07%
17/08/2020	99.48%	62.89%	99.90%	62.50%
18/08/2020	98.96%	93.85%	99.90%	92.78%
19/08/2020	98.96%	83.24%	99.90%	82.29%
20/08/2020	98.96%	69.73%	99.90%	68.93%
21/08/2020	99.48%	59.94%	99.90%	59.57%
24/08/2020	98.96%	65.94%	99.90%	65.18%
25/08/2020	99.48%	71.37%	99.90%	70.93%
26/08/2020	99.48%	94.99%	99.90%	94.41%
27/08/2020	99.48%	72.06%	99.90%	71.62%
28/08/2020	98.96%	95.24%	99.90%	94.16%
29/08/2020	98.96%	89.56%	99.90%	88.54%
31/08/2020	99.48%	65.40%	99.90%	65.00%

4.4.1.1. Resultados diarios del mes de agosto post implementación

A continuación, se mostrarán los gráficos de los 4 indicadores calculados anteriormente del mes de agosto post implementación de la tesis.

- En los siguientes gráficos 23, 24, 25 y 26 se puede observar que con la implementación de la tesis la disponibilidad aumenta su porcentaje incluso superando la meta planteada por la empresa, solo en el rendimiento hay días que no llega a alcanzar la meta, por ende, afecta la efectividad donde también hay días que no cumple la meta

planteada. Vale mencionar que en el gráfico 25 que pertenece a la calidad pudiendo sólo observar la línea de la meta ya que su porcentaje es el mismo que el de la post implementación.

Gráfico N° 23: Porcentaje diario de la disponibilidad de agosto post implementación

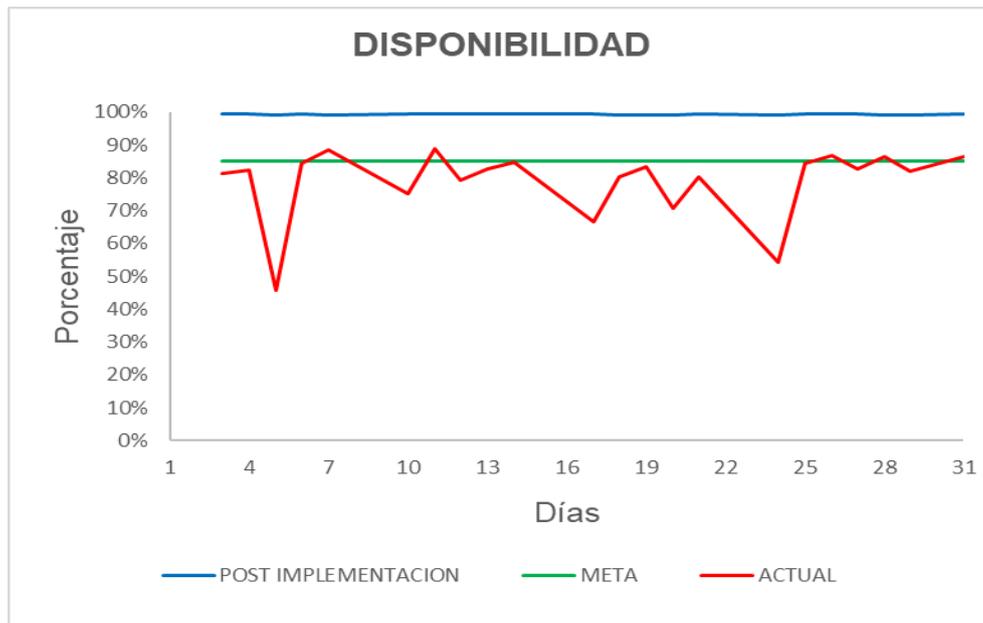


Gráfico N° 24: Porcentaje diario del rendimiento de agosto post implementación

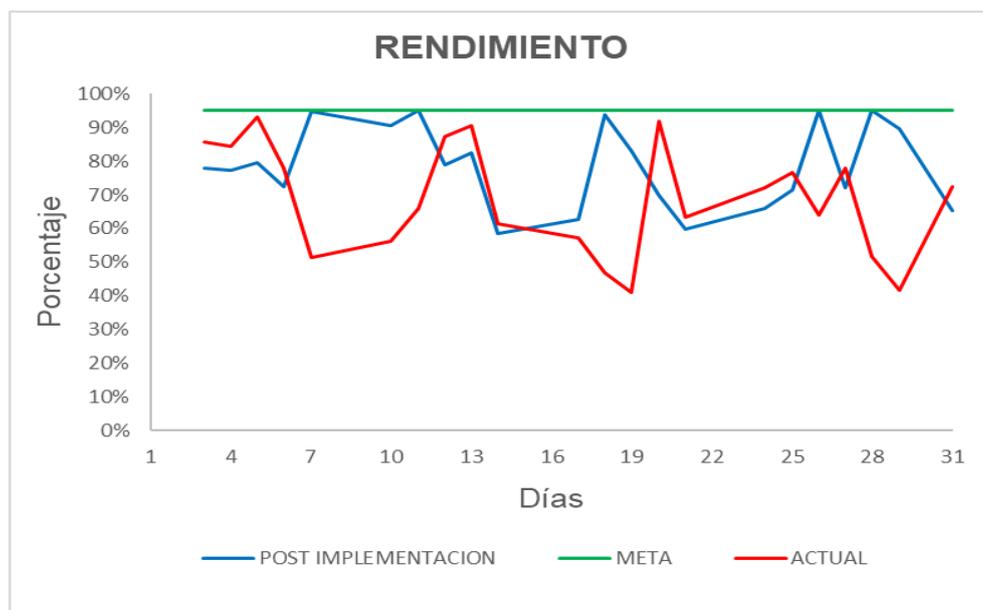


Gráfico N° 25: Porcentaje diario de la calidad de agosto post implementación

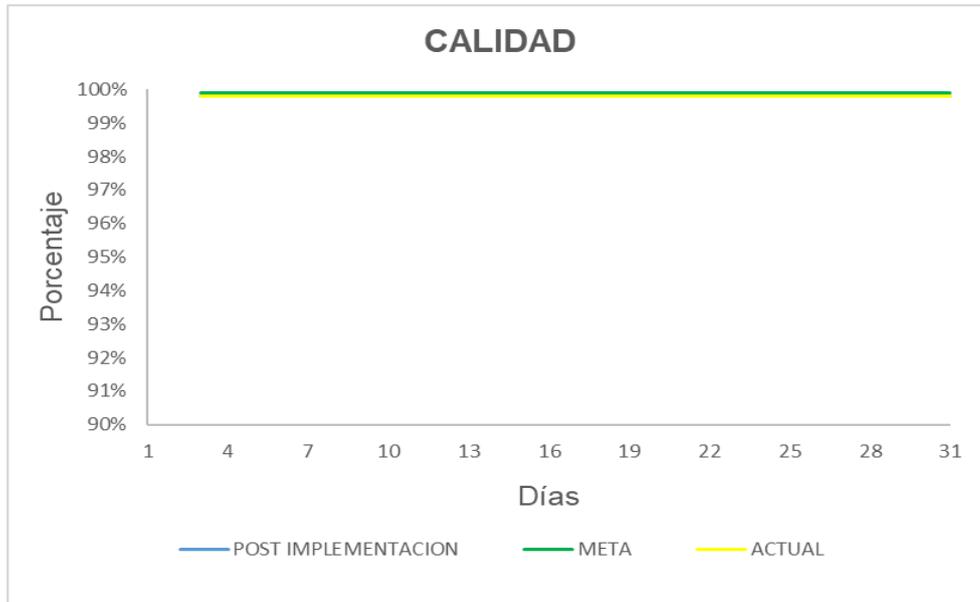
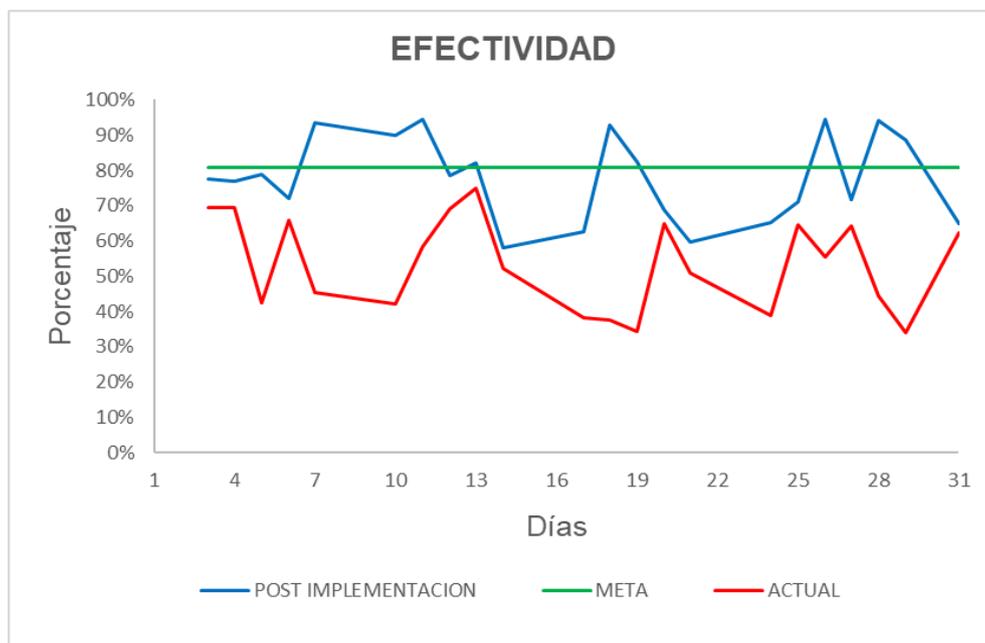


Gráfico N° 26: Porcentaje diario de la efectividad de agosto post implementación



4.4.1.2. Promedio ponderado de agosto post implementación

A continuación, se puede visualizar las siguientes tablas 27 y 28 que se encuentran con su respectivo gráfico 27 y 28, pudiendo observar el promedio ponderado de la disponibilidad superando la meta, pero el rendimiento aún no llega a alcanzar la meta durante la post implementación, para hallar este resultado se utilizó la Ecuación 07 mencionada en la pág. 34.

Tabla 27: Promedio ponderado de la disponibilidad del mes de agosto post implementación

DÍA	DISPONIBILIDAD			META
	PORCENTAJE	ENVASES	PORCENTAJE PONDERADO	
3	99.48%	496703		
4	99.48%	492307		
5	98.96%	252148		
6	99.48%	461138		
7	98.96%	299300		
10	99.48%	576223		
11	99.48%	605394		
12	99.48%	502697		
13	99.48%	525474		
14	99.48%	371628		
17	99.48%	400000	99.35%	85.00%
18	98.96%	296903		
19	98.96%	263336		
20	98.96%	220579		
21	99.48%	381218		
24	98.96%	208591		
25	99.48%	453946		
26	99.48%	604195		
27	99.48%	458341		
28	98.96%	301298		
29	98.96%	283316		
31	99.48%	415984		

Gráfico N° 27: Porcentaje ponderado de la disponibilidad del mes de agosto post implementación

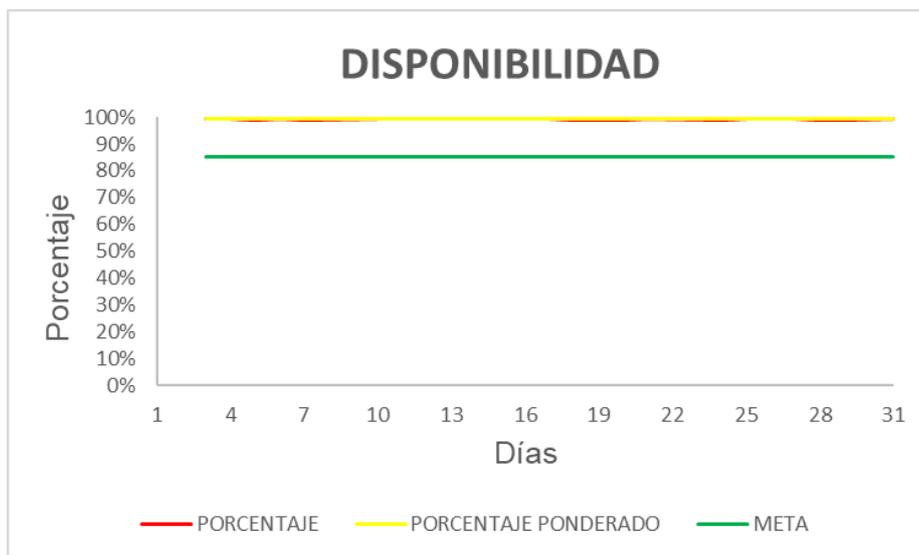
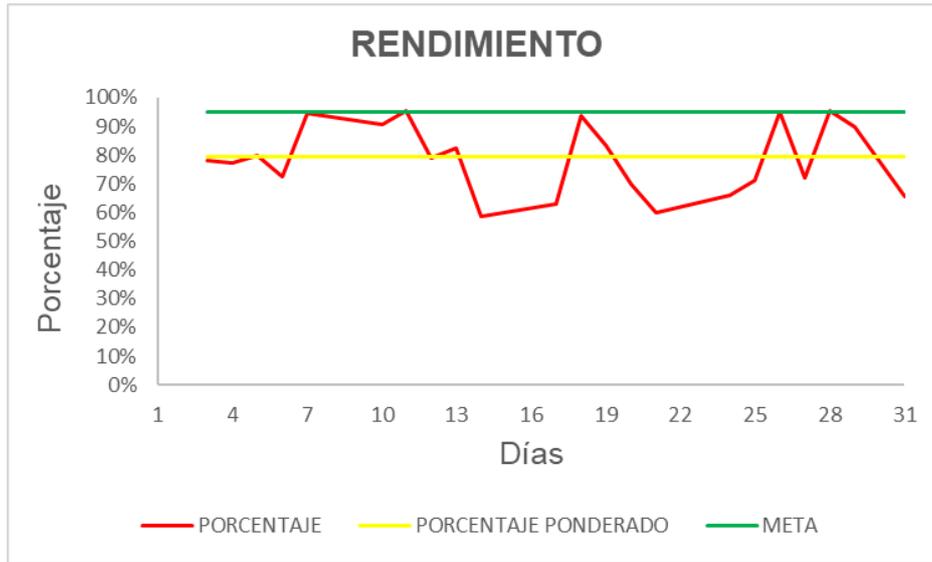


Tabla 28: Resumen diario y promedio ponderado del rendimiento de la máquina del mes de agosto pos implementación

DÍA	RENDIMIENTO			META
	PORCENTAJE	ENVASES	PORCENTAJE PONDERADO	
3	78.09%	496703		
4	77.40%	492307		
5	79.71%	252148		
6	72.50%	461138		
7	94.61%	299300		
10	90.60%	576223		
11	95.18%	605394		
12	79.04%	502697		
13	82.62%	525474		
14	58.43%	371628		
17	62.89%	400000	79.41%	95.00%
18	93.85%	296903		
19	83.24%	263336		
20	69.73%	220579		
21	59.94%	381218		
24	65.94%	208591		
25	71.37%	453946		
26	94.99%	604195		
27	72.06%	458341		
28	95.24%	301298		
29	89.56%	283316		
31	65.40%	415984		

Gráfico N° 28: Porcentaje ponderado del rendimiento del mes de agosto post implementación



4.4.2. Cálculo de indicadores del mes de setiembre post implementación

En los siguientes cálculos realizados se van a utilizar las Ecuaciones 03, 04, 05 y 06 que corresponden a los indicadores de disponibilidad, rendimiento, calidad y efectividad.

1. OEE del día 01/09

$$\text{Disponibilidad} = \frac{960 - 5}{960} \times 100\% = 99.48 \%$$

$$\text{Rendimiento} = \frac{0.0015 \times 563200}{955} \times 100\% = 88.46 \%$$

$$\text{Calidad} = \frac{562637}{563200} \times 100\% = 99.9 \%$$

$$\text{Efectividad} = (0.9948 \times 0.8846 \times 0.999) 100\% = 87.91 \%$$

- A continuación, en la tabla 29 se podrá observar el porcentaje de cada indicador de forma diaria de todo el mes de agosto, lo cual se calcularon conforme el detalle del ejercicio anterior que pertenece al día 03 de agosto.

Tabla 29: Porcentaje diario de los indicadores correspondiente al mes de setiembre post implementación

Fuente: Propia

FECHA	DISPONIBILIDAD	RENDIMIENTO	CALIDAD	EFFECTIVIDAD
01/09/2020	99.48%	88.46%	99.90%	87.91%
02/09/2020	99.48%	76.34%	99.90%	75.86%
03/09/2020	98.96%	75.92%	99.90%	75.05%
04/09/2020	98.96%	94.48%	99.90%	93.41%
05/09/2020	98.96%	91.07%	99.90%	90.04%
08/09/2020	99.48%	65.34%	99.90%	64.94%
09/09/2020	99.48%	53.72%	99.90%	53.38%
10/09/2020	98.96%	93.73%	99.90%	92.66%
11/09/2020	99.48%	82.99%	99.90%	82.48%
12/09/2020	99.48%	63.58%	99.90%	63.19%
14/09/2020	99.48%	82.99%	99.90%	82.48%
16/09/2020	99.48%	89.40%	99.90%	88.85%
17/09/2020	98.96%	42.95%	99.90%	42.46%
18/09/2020	98.96%	83.12%	99.90%	82.17%
19/09/2020	99.48%	70.05%	99.90%	69.62%
21/09/2020	98.96%	42.95%	99.90%	42.46%
23/09/2020	99.48%	69.74%	99.90%	69.31%
24/09/2020	99.48%	56.80%	99.90%	56.44%
25/09/2020	98.96%	65.05%	99.90%	64.31%
26/09/2020	98.96%	68.08%	99.90%	67.31%
28/09/2020	99.48%	88.59%	99.90%	88.04%
29/09/2020	99.48%	78.79%	99.90%	78.30%

4.4.2.1. Resultados diarios del mes de setiembre post implementación

A continuación, se mostrarán los gráficos de los 4 indicadores calculados anteriormente del mes de setiembre post implementación del proyecto.

- En los siguientes gráficos 29, 30, 31 y 32 se puede observar que con la implementación de la tesis la disponibilidad aumenta su porcentaje incluso superando la meta planteada por la empresa, sólo

en el rendimiento hay días que no llega a alcanzar la meta, por ende, afecta la efectividad donde también hay días que no cumple la meta planteada. Vale mencionar que en el gráfico 31 que pertenece a la calidad sólo se puede observar la línea de la post implementación ya que su porcentaje es el mismo que el de la meta.

Gráfico N° 29: Porcentaje diario de la disponibilidad de setiembre post implementación

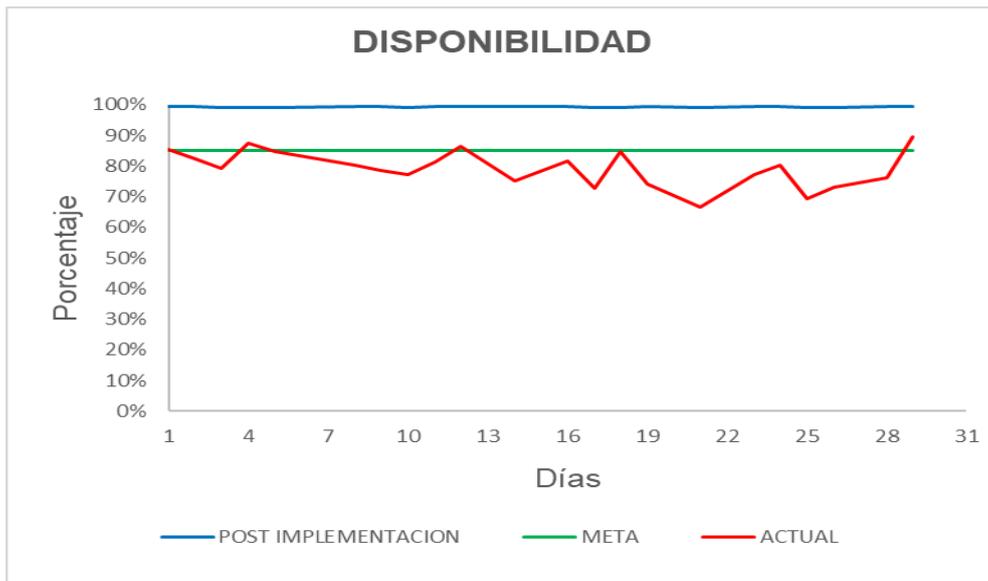


Gráfico N° 30: Porcentaje diario del rendimiento de setiembre post implementación

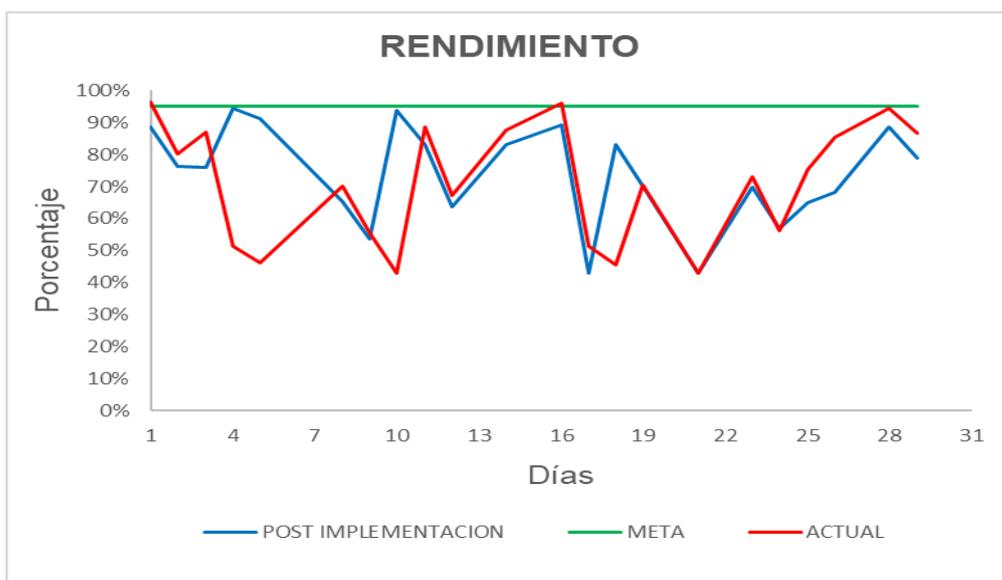


Gráfico N° 31: Porcentaje diario de la calidad de setiembre post implementación

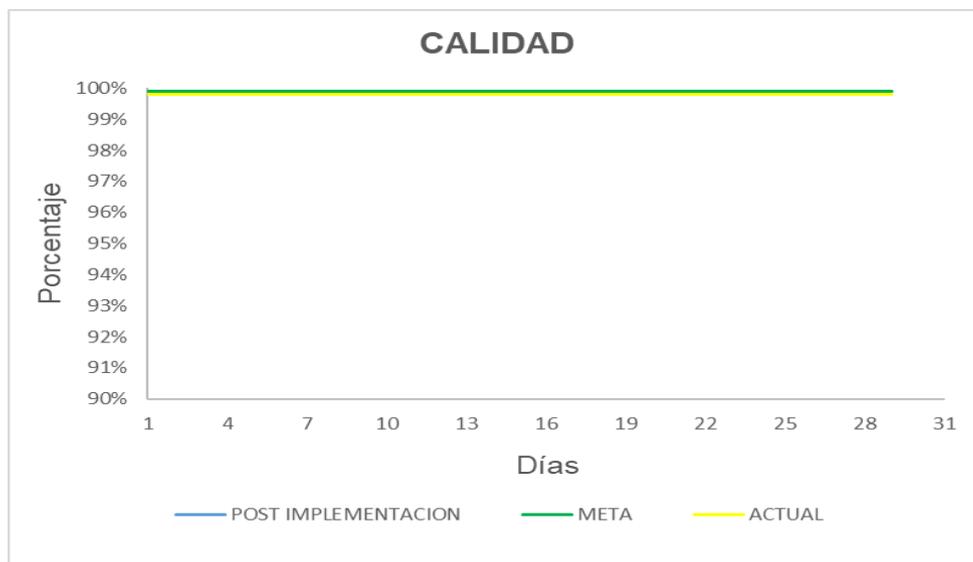
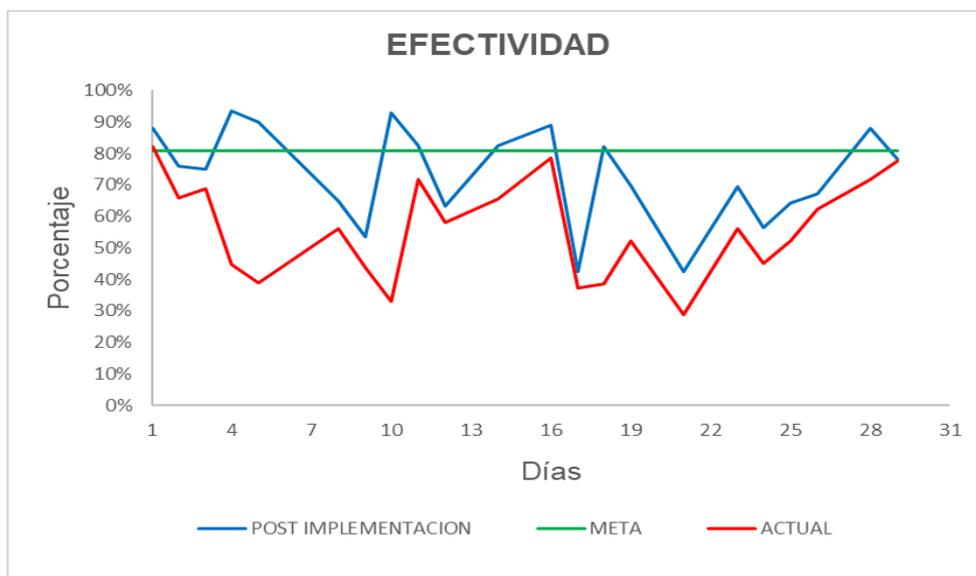


Gráfico N° 32: Porcentaje diario de la efectividad de setiembre post implementación



4.4.2.2. Promedio ponderado de setiembre post implementación

A continuación, se puede visualizar las siguientes tablas 30 y 31 que se encuentran con su respectivo gráfico 33 y 34, pudiendo observar el promedio ponderado de la disponibilidad superando la meta, también encontrándose al rendimiento que aún no llega a alcanzar la meta durante la post implementación, para hallar este resultado se utilizó la Ecuación 07 mencionada en la pág. 35.

Tabla 30: Promedio ponderado de la disponibilidad del mes de setiembre pos implementación

DISPONIBILIDAD				
DÍA	PORCENTAJE	ENVASES	PORCENTAJE PONDERADO	META
1	99.48%	562637		
2	99.48%	485514		
3	98.96%	240160		
4	98.96%	298901		
5	98.96%	288112		
8	99.48%	415584		
9	99.48%	341658		
10	98.96%	296503		
11	99.48%	527872		
12	99.48%	404395		
14	99.48%	527872		
16	99.48%	568631	99.35%	85.00%
17	98.96%	135864		
18	98.96%	262937		
19	99.48%	445554		
21	98.96%	135864		
23	99.48%	443556		
24	99.48%	361238		
25	98.96%	205794		
26	98.96%	215384		
28	99.48%	563436		
29	99.48%	501098		

Gráfico N° 33: Porcentaje ponderado de la disponibilidad del mes de setiembre pos implementación

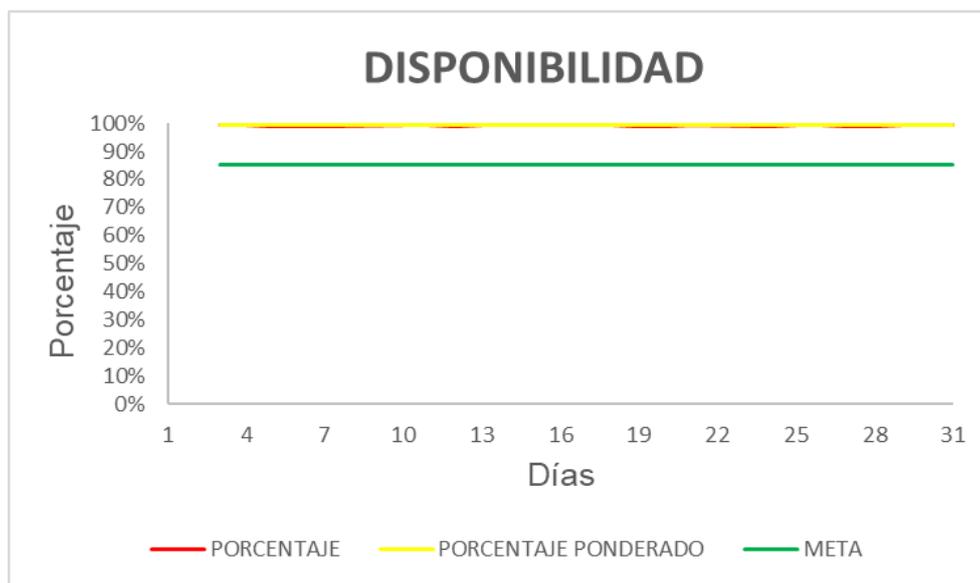
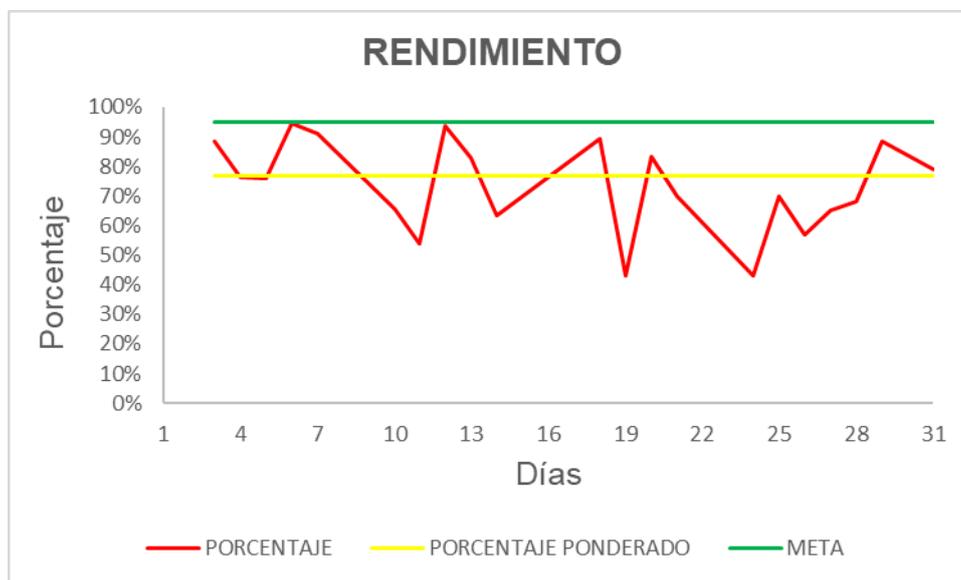


Tabla 31: Promedio ponderado del rendimiento del mes de setiembre post implementación

DÍA	RENDIMIENTO			META
	PORCENTAJE	ENVASES	PORCENTAJE PONDERADO	
1	88.46%	562637		
2	76.34%	485514		
3	75.92%	240160		
4	94.48%	298901		
5	91.07%	288112		
8	65.34%	415584		
9	53.72%	341658		
10	93.73%	296503		
11	82.99%	527872		
12	63.58%	404395		
14	82.99%	527872		
16	89.40%	568631	76.64%	95.00%
17	42.95%	135864		
18	83.12%	262937		
19	70.05%	445554		
21	42.95%	135864		
23	69.74%	443556		
24	56.80%	361238		
25	65.05%	205794		
26	68.08%	215384		
28	88.59%	563436		
29	78.79%	501098		

Gráfico N° 34: Porcentaje ponderado del rendimiento del mes de setiembre post implementación



4.5. Análisis económico del diseño automatizado

4.5.1. Inversión de la automatización

Para el análisis de los costos fijos de inversión inicial, se consideraron valores con los cuales trabaja la planta embotelladora con sus proveedores, ya que la presente tesis será financiada por la misma empresa.

A continuación, se visualizará la tabla 32 donde se realiza de forma detallada todos los materiales, consumibles y mano de obra con sus precios respectivos, obteniendo así un monto total fijo.

Tabla 32: Activos fijos del proyecto

Fuente: Empresa embotelladora

	ACTIVOS FIJOS	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO TOTAL
MATERIALES	Motorreductor	Unidad	2	S/ 10,325.59	S/ 20,651.18
	Cable 1.31 mm2	Metros	130	S/ 20.31	S/ 2,640.3
	Llave Termomagnética	Unidad	2	S/ 250.28	S/ 500.56
	Variado de Velocidad	Unidad	2	S/ 2,505.85	S/ 5011.7
	Encoder	Unidad	2	S/ 3,500.38	S/ 7,000.76
	Contacto	Unidad	2	S/ 240.25	S/ 480.5
	Prensaestopas PG9	Unidad	12	S/ 10	S/ 120
	Laptop de Programación (PG)	Días	14	S/ 10	S/ 140
CONSUMIBLES	Cintillos CV-100W	Paquete	5	S/ 15	S/ 75
	Terminales Eléctricos	Paquete	5	S/ 6	S/ 30
	Wypall	Paquete	2	S/ 58	S/ 116
	Grasa Dieléctrica	Unidad	1	S/ 50	S/ 50
	Trapo Industrial	Kg	4	S/ 5	S/ 20
MANO DE OBRA	3 Técnicos	Días	20	S/ 80	S/ 4,800
	1 Supervisor Residente	Días	20	S/ 200	S/ 4,000
	1 Programador	Días	20	S/ 120	S/ 2,400
	1 Supervisor de Seguridad	Días	20	S/ 150	S/ 3,000
	Total				S/ 51,036.00

4.5.2. Pérdidas por mes de producción

Por cada hora de parada no programada de la máquina, la empresa embotelladora tiene pérdidas de dinero para la producción, considerando que no sea programado, las horas de demora en la producción son los tiempos para reparar (MTTR), para lo cual extraemos los datos de la frecuencia de los dos meses analizados anteriormente.

En la actualidad el costo de producción por hora de la empresa embotelladora es de S/. 750.00 por hora, por lo tanto y el costo de envase dañado equivale a S/. 0.01.

En las siguientes tablas 33 y 34 se puede observar las pérdidas por merma de envases, las cuales se ocasionaron en los meses de agosto y setiembre, se llegó a sumar el costo diario de la merma de cada mes

y a la vez se le resta el monto por el cual es vendido cada envase tomado como merma, de tal forma se obtiene el monto total al equivalente de la merma de cada mes.

Tabla 33: Costos de pérdida de envases del mes de agosto

Fuente: Tabla 04

FECHA	FORMATO	MERMA DE ENVASES (UND)	PRECIO POR UNIDAD (S/.)	SUB TOTAL (S/.)
03/08/2020	IK 192 ml	890	0.73	648.96
04/08/2020	CC 1000 ml	890	1.98	1,762.20
05/08/2020	CC 400 ml	273	1.05	286.65
06/08/2020	IK 296 ml	843	0.98	830.00
07/08/2020	IK 625 ml	583	1.21	707.86
10/08/2020	IK 400 ml	810	1.05	850.50
11/08/2020	IK 1000 ml	1124	1.98	2,225.52
12/08/2020	CC 192 ml	886	0.83	734.64
13/08/2020	CC 296 ml	960	0.93	896.40
14/08/2020	CC 625 ml	668	1.30	866.17
17/08/2020	CC 1000 ml	489	1.98	968.22
18/08/2020	FN 192 ml	482	0.83	399.66
19/08/2020	FN 400 ml	439	1.05	460.95
20/08/2020	FN 296 ml	416	0.93	388.44
21/08/2020	IK 625 ml	651	1.21	790.42
24/08/2020	SP 400 ml	250	1.05	262.50
25/08/2020	IK 1000 ml	829	1.98	1,641.42
26/08/2020	SP 192 ml	1066	0.83	883.89
27/08/2020	SP 296 ml	826	0.93	771.28
28/08/2020	CC 625 ml	571	1.30	740.40
29/08/2020	CC 192 ml	437	0.83	362.35
31/08/2020	CC 296 ml	801	0.93	747.93
VENTA		15184	0.01	101.23
TOTAL				18,125.14

Tabla 34: Costos de pérdida de envases del mes de setiembre

Fuente: Tabla 05

FECHA	FORMATO	MERMA DE ENVASES (UND)	PRECIO POR UNIDAD (S/.)	SUB TOTAL (S/.)
01/09/2020	IK 1000 ml	1054	1.98	2,086.92
02/09/2020	IK 400 ml	844	1.05	886.20
03/09/2020	IK 192 ml	441	0.73	321.56
04/09/2020	IK 296 ml	574	0.98	565.15
05/09/2020	CC 625 ml	501	1.30	649.63
08/09/2020	CC 400 ml	720	1.05	756.00
09/09/2020	CC 625 ml	560	1.30	726.13
10/09/2020	CC 296 ml	426	0.93	397.78
11/09/2020	CC 192 ml	921	0.83	763.66
12/09/2020	CC 1000 ml	746	1.98	1,477.08
14/09/2020	IK 625 ml	841	1.21	1,021.11
16/09/2020	SP 400 ml	1006	1.05	1,056.30
17/09/2020	SP 192 ml	240	0.83	199.00
18/09/2020	FN 296 ml	496	0.93	463.14
19/09/2020	IK 1000 ml	668	1.98	1,322.64
21/09/2020	IK 625 ml	184	1.21	223.41
23/09/2020	SP 296 ml	720	0.93	672.30
24/09/2020	CC 625 ml	579	1.30	750.77
25/09/2020	FN 400 ml	334	1.05	350.70
26/09/2020	CC 1000 ml	400	1.98	792.00
28/09/2020	FN 192 ml	921	0.83	763.66
29/09/2020	IK 296 ml	995	0.98	979.66
VENTA		14171	0.01	94.47
TOTAL				17,130.34

Tabla 35: Costos de pérdida de los meses de agosto y setiembre

Fuente: Tablas 33 y 34

MESES	COSTO DE MERMA DE ENVASES (S/.)	PARADAS NO PROGRAMADAS (HORA)	COSTO POR HORA DE PARADA NO PROGRAMADA (S/.)	SUB TOTAL (S/.)
Agosto	18,125.14	34.38		43,910.14
Setiembre	17,130.34	27.56	750.00	37,800.34
Total				81,710.48

En la tabla 35 se puede observar que durante los meses de agosto y setiembre del presente año se tuvo una pérdida de S/. 81,710.48 tan sólo en paradas no programadas y merma de envases, no se consideran los tiempos de regulación ya que ese tiempo está considerado como parada programada para cada producción.

En las siguientes tablas 36 y 37 se puede observar las pérdidas por merma de envases, las cuales se ocasionarían post implementación tomando como muestra los meses de agosto y setiembre, sacando el monto total de igual manera que las tablas 33 y 34, restando al monto de la merma de todo el mes el monto equivalente a la venta de los envases tomados como merma.

Tabla 36: Costos de pérdida de envases del mes de agosto post implementación

Fuente: Tabla 24

FECHA	FORMATO	MERMA DE ENVASES (UND)	PRECIO UNIDAD (S/.)	SUB TOTAL (S/.)
03/08/2020	IK 192 ml	497	0.73	362.40
04/08/2020	CC 1000 ml	493	1.98	976.14
05/08/2020	CC 400 ml	252	1.05	264.60
06/08/2020	IK 296 ml	462	0.98	454.88
07/08/2020	IK 625 ml	300	1.21	364.25
10/08/2020	IK 400 ml	577	1.05	605.85
11/08/2020	IK 1000 ml	606	1.98	1,199.88
12/08/2020	CC 192 ml	503	0.83	417.07
13/08/2020	CC 296 ml	526	0.93	491.15
14/08/2020	CC 625 ml	372	1.30	482.36
17/08/2020	CC 1000 ml	400	1.98	792.00
18/08/2020	FN 192 ml	297	0.83	246.26
19/08/2020	FN 400 ml	264	1.05	277.20
20/08/2020	FN 296 ml	221	0.93	206.36
21/08/2020	IK 625 ml	382	1.21	463.81
24/08/2020	SP 400 ml	209	1.05	219.45
25/08/2020	IK 1000 ml	454	1.98	898.92
26/08/2020	SP 192 ml	605	0.83	501.65
27/08/2020	SP 296 ml	459	0.93	428.59
28/08/2020	CC 625 ml	302	1.30	391.59
29/08/2020	CC 192 ml	284	0.83	235.48
31/08/2020	CC 296 ml	416	0.93	388.44
VENTA		8881	0.01	59.21
TOTAL				10,609.13

Tabla 37: Costos de pérdida de envases del mes de setiembre post implementación

Fuente: Tabla 25

FECHA	FORMATO	MERMA DE ENVASES (UND)	PRECIO UNIDAD (S/.)	SUB TOTAL (S/.)
01/09/2020	IK 1000 ml	563	1.98	1,114.74
02/09/2020	IK 400 ml	486	1.05	510.30
03/09/2020	IK 192 ml	240	0.73	175.00
04/09/2020	IK 296 ml	299	0.98	294.39
05/09/2020	CC 625 ml	288	1.30	373.44
08/09/2020	CC 400 ml	416	1.05	436.80
09/09/2020	CC 625 ml	342	1.30	443.46
10/09/2020	CC 296 ml	297	0.93	277.32
11/09/2020	CC 192 ml	528	0.83	437.80
12/09/2020	CC 1000 ml	405	1.98	801.90
14/09/2020	IK 625 ml	528	1.21	641.08
16/09/2020	SP 400 ml	569	1.05	597.45
17/09/2020	SP 192 ml	136	0.83	112.77
18/09/2020	FN 296 ml	263	0.93	245.58
19/09/2020	IK 1000 ml	446	1.98	883.08
21/09/2020	IK 625 ml	136	1.21	165.13
23/09/2020	SP 296 ml	444	0.93	414.59
24/09/2020	CC 625 ml	362	1.30	469.39
25/09/2020	FN 400 ml	206	1.05	216.30
26/09/2020	CC 1000 ml	216	1.98	427.68
28/09/2020	FN 192 ml	564	0.83	467.65
29/09/2020	IK 296 ml	502	0.98	494.26
VENTA		8236	0.01	54.91
TOTAL				9,945.20

Tabla 38: Costos de pérdida de los meses de agosto y setiembre post implementación

Fuente: Tablas 36 y 37

MESES	COSTO DE LA MERMA DE ENVASES (S/.)	PARADAS NO PROGRAMADAS (HORA)	COSTO POR HORA DE PARADA NO PROGRAMADA (S/.)	SUB TOTAL (S/.)
Agosto	10,609.13	0		10,609.13
Setiembre	9,945.20	0	750.00	9,945.20
Total				20,554.33

En la tabla 34 se puede observar que en la post implementación tomando los meses de agosto y setiembre se tendría una pérdida de S/. 20,554.33 siendo sólo en merma de envases, no considerando los tiempos de regulación ya que ese tiempo está considerado como parada programada para cada producción.

4.5.3. Beneficio útil

El costo beneficio será centralizado en recuperar lo invertido en la implementación el cual estaría expresado de la siguiente manera, información extraída de las tablas 31 y 34.

Beneficio neto = Pérdidas producción actual – Pérdidas producción de mejora – Mantenimiento

$$\text{Beneficio neto} = S/ 81,710.48 - S/ 20,554.33 - S/ 2,500.00$$

$$\text{Beneficio neto} = S/ 58,656.15 / \text{Bimensual}$$

4.5.4. Retorno operacional de inversión (R.O.I)

$$\text{R. O. I} = \frac{\text{Inversión}}{\text{Beneficio neto}}$$

$$\text{R. O. I} = \frac{S/ 51,036.00}{S/ 58,656.15}$$

$$\text{R. O. I} = 0.87008 \text{ años}$$

$$\text{R. O. I} = 10.44 \text{ meses}$$

El tiempo estimado para rescatar la inversión sería de 10.44 meses.

V. DISCUSIÓN

5.1. Diagnóstico actual de la máquina e identificación de su disponibilidad

Se consideraron los tiempos de regulación y paradas no programadas para obtener la disponibilidad y rendimiento de ambos sistemas (carga y descarga de botellas), para luego obtener el promedio ponderado de ambos indicadores que resultaron siendo los más afectados, donde este valor es relevante dado que indica el grado de operación de los sistemas, donde valores por debajo de una disponibilidad ponderada 81.42% y 72.71% para los meses de agosto y setiembre respectivamente, arrojando valores por debajo de la meta planteada por la empresa la cual es de 85%. En relación al rendimiento ponderado los valores alcanzados de 70.18% y 75.53% para los meses de agosto y setiembre, estuvieron por debajo de la meta planteada por la empresa, siendo esta de 95%, lo que refleja la importancia de una sincronización manual por una automática.

Conociendo los porcentajes obtenidos de los meses de agosto y setiembre, se puede observar que ninguno está llegando a su meta por lo mismo que el tiempo de regulación es excesivo, por lo cual la máquina no es efectiva para la empresa, la empresa requiere de un diseño automatizado en ambos sistemas de la máquina ya que necesita aumentar su disponibilidad y rendimiento.

5.2. Definición los equipos eléctricos y electrónicos para realizar la automatización de la carga y descarga de botellas

Para el control automático se requirió de motorreductores eléctricos, variadores de velocidad, llaves termomagnéticas, cable y encoder óptico incremental porque los equipos como: PLC (Siemens S7) y HMI ya existen en la máquina y están en correctas condiciones para el funcionamiento con la nueva tecnología a implementar.

Asimismo, se hizo la selección del motorreductor eléctrico de 5.5 kW de tipo jaula de ardilla, debido a que su costo de adquisición y eficiencia. Para el control de la sincronización de los sistemas de carga y descarga de

botellas, se seleccionó el encoder óptico incremental de 5000 pulsos, porque son muy exactos en su trabajo. En el mercado local existen otro tipo de encoder de diversas cantidades de pulsos, pero estos tipos de instrumentos no son muy exactos en su trabajo al momento de determinar la posición que se encuentra el motor eléctrico, no siendo factible ya que los procesos de sincronización en los sistemas tienen que ser precisos. Los variadores de velocidad, son la mejor opción para trabajar en el control de los motores eléctricos ya que son equipos electrónicos con mucha exactitud y confiabilidad, también existen los arrancadores de estado sólido, pero no serían eficientes en esta implementación ya que el motor va a contar con su velocidad nominal en la sincronización, por ende, no cumplen con las condiciones de trabajo.

5.3. Programación de la sincronización automática en el PLC y HMI existente, para la sincronización de la carga y descarga de botellas

La representación del seguimiento de los resultados se visualiza en una PC la cual registra en tiempo real la dinámica del proceso (Pantalla HMI). Para el almacenamiento de la información los PLC cuentan hasta con 82 FC (función de control) y 37 DB (diagrama de bloques), para la comunicación entre el PLC y el usuario, en la industria se utilizan 5 tipos de lenguaje de programación: El lenguaje de funciones secuenciales (SFC), lenguaje de diagramas secuenciales (FBD), lenguaje de diagramas de relés o ladder (LD), lenguaje de texto estructurado (ST) y lenguaje de tipo ensamblador (IL). En la presente investigación se programó 1 FC, el cual cuenta con 11 memorias ya que la presente investigación cuenta con 5 formatos de producción, cada formato cuenta con 2 memorias y 1 memoria está dirigida para el movimiento de los motores en manual (job), las señales que se utilizaron del PLC son: señales digitales de entrada para la alarma de las llaves termomagnéticas (E1.0, E1.1), señales digitales de salida para el arranque de motores (A0.4, A0.7) y las señales analógicas de entrada para la sincronización (MW102, MW110). Para la programación se utilizó diagramas de relés o ladder, porque es un

lenguaje gráfico muy conocido en el entorno de los autómatas programables porque se fundamenta en esquemas eléctricos de controles clásicos, de manera que todo ingeniero o técnico en la línea eléctrica puede acoplarse fácilmente a este tipo de lenguaje.

5.4. Proyección de mejora del diseño propuesto

Se llegó a realizar un diagnóstico de post-implementación de la tesis obteniendo los siguientes valores:

En el mes de agosto se lograría aumentar el promedio ponderado de la disponibilidad, conociendo que en la actualidad cuenta con un porcentaje de 81.42% por lo cual si se realizaría la implementación de la presente tesis se obtendría un porcentaje de 99.35%, llegando a cumplir con la meta planteada por la empresa. Por otro lado, en el indicador del rendimiento cuenta con un porcentaje ponderado de 70.18% y si se realizaría la implementación de dicha tesis se llegaría hasta 76.64% no llegando a cumplir la meta, pero si se llegaría a aumentar un 6.46% a diferencia de la actualidad.

En el mes de setiembre se lograría aumentar el promedio ponderado de la disponibilidad, conociendo que en la actualidad cuenta con un porcentaje de 72.71% por lo cual si se realizaría la implementación de la presente tesis se obtendría un porcentaje de 99.35%, llegando a cumplir con la meta planteada por la empresa. Por otro lado, en el indicador del rendimiento cuenta con un porcentaje ponderado de 75.53% y si se realizaría la implementación de dicha tesis se llegaría hasta 79.41% no llegando a cumplir la meta, pero si se llegaría a aumentar un 4.12% a diferencia de la actualidad.

Como se puede observar anteriormente en los meses de agosto y setiembre los cuales fueron analizados, el único indicador que no llegó a su meta es el rendimiento, por lo mismo que el tiempo planificado de producción es muy superior al tiempo real de producción. Si el tiempo fuera el mismo o el tiempo estimado de producción fuera menor al tiempo que en la actualidad viene dándose el rendimiento si llegaría a su meta.

5.5. Análisis económico del diseño automatizado

Fue necesario realizar un análisis económico para medir la viabilidad del proyecto mediante el periodo de retorno de la inversión y el beneficio útil, estos indicadores económicos reflejan la factibilidad del cambio de control manual mediante equipos eléctricos y electrónicos con un control automatizado por PLC. Se realizaron los cálculos del costo total de la implementación del diseño arrojando un monto de S/ 51,036.00. durante los meses de agosto y setiembre antes de la implementación del proyecto las pérdidas fueron de S/ 81,710.48.

Para los mismos meses mencionados y después de la implementación del proyecto las pérdidas alcanzarían un valor de apenas S/ 20,554.33, arrojando resultados muy valiosos si se llegara a realizar el proyecto propuesto en la presente tesis.

VI. CONCLUSIONES

- Se determinó la situación actual de los sistemas de carga y descarga de botellas de la máquina, resultando que los indicadores más críticos de ambos sistemas cuentan con un promedio ponderado en la disponibilidad de 81.42% y 72.71%, por otro lado el rendimiento llegó a 70.18% y 75.53%, debiéndose al exceso de tiempo de regulación de 1.30 horas y paradas no programadas con un tiempo máximo de hasta 4.30 horas en los 2 meses analizados anteriormente, llevando a dichos indicadores de la máquina muy por debajo de su meta planteada por la planta industrial.
- Se analizó que para la sincronización de los sistemas de carga y descarga de botellas se necesita de 2 motorreductores de 5.5 kW, 2 variadores de velocidad de 6.6 kW, 2 llaves termomagnéticas de 16 A, 2 encoder incrementales de 5000 pulsos y 130 metros de cable de 2.08 mm².

- Se realizó la programación de los sistemas de carga y descarga de botellas, para cada tipo de formato los cuales son 6 formatos con los que trabaja la máquina pero solo se crearon 5 recetas ya que la del formato 625 ml y 1000 ml se consideran en una sola receta por ser del tamaño muy cercano, se llegó a realizar la programación en el FC9 utilizando el lenguaje Ladder: contando con 11 memorias, señales digitales para la alarma de las llaves termomagnéticas (E1.0, E1.1), señales digitales para el encendido de los motores (A0.4, A0.7) también cuenta con 2 entradas analógicas (MW102, MW110).
- Se determinó la situación post-implementación de los sistemas de carga y descarga de botellas de la máquina, resultando que los indicadores más críticos son la disponibilidad lo cual llegó a aumentar un promedio de 17.93% hasta 26.64% y el rendimiento de 4% hasta 6%, lo cual sólo llegó a superar la meta el indicador de la disponibilidad más no el rendimiento.
- El análisis expuesto nos indica que automatizar los sistemas mecánicos de la carga y descarga de botellas, conllevaría a una inversión de S/. 51,036.00 por lo tanto el retorno de la inversión sería en un periodo de 10.44 meses. Por otro lado, considerando los meses de agosto y setiembre el beneficio neto sería de S/. 58,656.15.

VII. RECOMENDACIONES

- Se recomienda la implementación de un plan de mantenimiento preventivo y predictivo basado en el riesgo para los equipos intervinientes en los sistemas de carga y descarga de botellas con la finalidad que no afecten o interfieran en el control automatizado a implementar.
- Capacitar al personal del área de mantenimiento y producción, respecto a los temas de instrumentación y automatización, para la eficiente comunicación usuario – PLC, mediante el uso del lenguaje Ladder.

- Elaborar un diagrama de Gantt para las distintas tareas o actividades que involucra la implementación del control automático de los sistemas de carga y descarga de botellas de la máquina.
- Definir bien los tiempos de producción planificados para que no exista mucha diferencia al de la producción real, por ende, se obtendrán buenos resultados en los indicadores.

REFERENCIAS

Abreu, Jose. 2012. *Hipotesis, Metodo y Diseño de Investigacion.* 2012. ISBN: 1870-557X.

Ahtty, Daniel y Almeida, Francis. 2019. *Diseño y Construcción de una Máquina Semiautomática Lavadora de Botellas de Vidrio con Capacidad de 6 Botellas de 750 ml por Ciclo.* Universidad Politécnica Salesiana, Quito, Ecuador : 2019.

Algarra, Ivonne y Sierra, Cristian. 2018. *Estudio de la efectividad global de los equipos (OEE) y propuesta de mejoramiento basada en el uso de herramientas de manufactura esbelta en la empresa Inemflex S.A.S.* Universidad Agustiniiana, Bogotá : 2018. 61.

Altamirano Benites, Fidel y Ramos Suclupe, Juan Manuel. 2019. *Diseño de un sistema de control y monitoreo para la medición, dosificación y mezclado de insumos en la preparación de alimentos balanceados en el molino milagro de la empresa chimú agropecuaria s.a .* Universidad Cesar Vallejo, Trujillo : 2019.

Arevalo, Gilberto. 2012. *El Analisis de Confiabilidad Como Herramienta para Optimizar la Gestion del MAntenimiento Preventivo.* Universidad Nacional de Ingenieria, Lima, Peru : 2012.

Balboa Elizalde, Jesus. 2020. Youtube. *Metodología de Diseño en Ingeniería.* [En línea] 19 de Mayo de 2020. [Citado el: 03 de Enero de 2021.] <https://www.youtube.com/watch?v=oiv0Jw22vNg>.

Balladares, Andrea y Fernandez, Jenniffer. 2015. *Analisis del Comportamiento de Consumo de Bebidas en los Patios de Comidas de los Centros Comerciales en la Ciudad de Guayaquil.* Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, Quito, Ecuador : 2015.

Carrillo, Snaider, Polo, Agenor y Esmeral, Mario. 2005. *Diseño y Construcción de un Controlador Lógico Programable Basado en un Núcleo Reconfigurable.* Bogota : s.n., 2005. pág. 11. Vol. 9. ISBN: 0123-921X.

- Castro, Roberto, Manyari, Raul, Noriega, Diana y Yauyo, Emelsof. 2018.** *Buenas Prácticas en la Gestión de Inventarios Casos de Empresas del Sector de Bebidas Gaseosas.* Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú : 2018.
- Cristancho, Oscar. 2009.** *Automatización de la Máquina Lavadora de Botellas Barry-wehmler de la Línea 1 del Salón de Embotellado de Bavaria-Sabmiller, Cervecería Bucaramanga.* Universidad Pontificia Bolivariana Bucaramanga, Bucaramanga, Colombia : 2009.
- Cuatrecasas, Lluís. 2010.** *Etapas del Mantenimiento Autónomo.* s.l. : Profit, 2010. ISBN: 978-8492956-12-8.
- Díaz, Margarita. 1999.** *La Aplicación del Mantenimiento Predictivo en la Mecánica.* Caracas : Leon S.R.L, 1999. ISBN: 980-00-1490-x.
- Fernández, Francisco. 2014.** *Auditoría del Mantenimiento e Indicadores de Gestión.* s.l. : Artegraf S.A, 2014. pág. 234. ISBN: 8496169367.
- Ganchozo, Jorge. 2019.** *Estudio Comparativo de la Demanda de Bebidas Gaseosas Frente a los Jugos de Fruta Naturales en el Mercado de Manta.* Universidad Estatal del Sur de Manabí, Manabí, Ecuador : 2019.
- Gómez, Félix. 1998.** *Tecnología del Mantenimiento Industrial.* Murcia : s.n., 1998. pág. 341. Vol. 2. ISBN: 84-8371-008-0.
- Guaigua, Luis y Villacís, Santiago. 2010.** *Implementación de un Mecanismo Automatizado en el Avance Longitudinal de la Mesa de una Fresadora para Mejorar el Planeado de Superficies en Duraluminio (Prodax) en la Microempresa LYG Ingeniero Industrial.* Universidad Técnica de Abanto, Abanto, Ecuador : 2010.
- Hernández, Pedro. 2015.** *Automatización Industrial.* 2015.
- Hidalgo Castro, Giovanni Javier. 2013.** *Automatización de la máquina over flow 500 para el mejoramiento de la calidad del tinturado de las telas pesadas y semipesadas en la empresa teimsa s.a.* Universidad Técnica de Abanto , Abanto, Ecuador : 2013.
- Iribarren, Sanzol. 2010.** *Implantación de Plan de Mantenimiento TPM en Planta de Cogeneración.* Escuela Técnica Superior de Ingenieros, s.l. : 2010.
- Krones. 2000.** *Manual de Mantenimiento.* 2000. pág. 319. ISBN: D-07-S0-0-03-47.
- Lozada, José. 2014.** *Investigación Aplicada.* 2014. pág. 50. Vol. 3. ISBN: 1390-9592.
- Manual de Mantenimiento. Cermex. 2009.* 2009, pág. 105.
- . **Sidel. 2010.** 2010, Vol. 2, pág. 502.
- Mohamed Ben-Daya, Uday Kumar y Prabhakar Murthy. 2016.** *Introducción al mantenimiento de ingeniería.* 2016. pág. 688. ISBN: 978-1-118-92642-0.

Moreno, Michael y Patiño, Camilo. 2017. *Efectos de la Cultura Peruana Sobre el Consumo de la Bebida Carbonatada Kola Real y su Publicidad.* Fundacion Universitaria Empresarial de la Camara de Comercio de Bogota, Bogota, Colombia : 2017.

Ocampo, Carlos. 2009. *Diseño e Implementacion de Sincronizacion y Automatizacion de las Bandas 1, 2 y 3 de la maquina II de Eternit Colombiana S.A.* Universidad Autonoma de Occidente, Santiago de Cali : 2009.

Odreman, Rafael. 2016. *Migracion del Sistema Sattcontrol del Pasteurizador de Cerveza para Barriles al Sistema Controllogix.* Universidad Simon Bolivar, s.l., Venezuela : 2016.

Ovalle, Alex, Ocampo, Olga y Acevedo, Maria. 2013. *Identificacion de Brechas Tecnologicas en Automatizacion Industrial de las Empresas del Sector Metalmeccanico de Caldas.* Cali : s.n., 2013. Vol. 15. ISBN: 0123-3033.

Patiño, Hermán, Lopez, Luis y Mosquera, Eduardo. 2017. *Metodologia del Diseño y Modelado de un Accionamiento Mecanico.* Pereira : Scientia Et Technica, 2017. pág. 11. Vol. 22. 0122-1701.

Paucar, Edgar. 2014. *Estudio de Sistemas de Lavado de Botellas para la Optimizacion de Tiempos de Produccion en el Proceso de Embotellado en el Laboratorio de Automatizacion y Control de la Facultad de Ingenieria Civil y Mecanica de la Universidad Tecnica de Ambato.* Universidad Tecnica de Ambato, Abanto, Ecuador : 2014.

Perez, Esteban. 2015. *Los sistemas SCADA en la automatizacion Industrial.* 2015. Vol. 28. ISBN: 0379-3982.

Quispe, Enrique. 2003. *El Hombre y la Maquina.* 2003. pág. 9. ISBN: 0121-0777.

Rairan, Jose y Fonseca, Jose. 2013. *Algoritmo para la Aproximacion de la Velocidad de Giro de un Eje Mediante un Encoder Incremental.* Bogota : s.n., 2013. pág. 18. ISBN: 0123-2126.

Ramirez, Mateo. 2018. *Mantenimiento y Modernizacion de Obras Civiles, Obras Electricas, Cableado Estructurado y Equipos Electromecanicos en el Centro Administrativo Municipal y Sedes Externas.* Universidad de Antioquia, Medellin : 2018.

Reinoso, Jhon. 2014. *Modernizacion del Sistema de Control y Vizualizacion de la Linea de Lavado de Botellas en The Tesalia Springs company S.A.* Escuela Politecnica Nacional, Quito, Ecuador : 2014.

Rey, Francisco. 2001. *Manual del Mantenimiento Integral en la Empresa.* s.l. : Fundacion Confemetal, 2001. pág. 460. ISBN: 84-95428-18-0.

Rudolph, Eggert. 2010. *Engineering Design.* 2010. ISBN: 978-0.615-31938-4.

- Sanchis, Roberto, Romero, Julio y Vicent, Carlos. 2010.** *Introduccion a los Automatismos.* [ed.] Universitat Jaume I. Castellon de la Plana : s.n., 2010. pág. 258. ISBN: 9788469309940.
- Sew, Eurodrive. 2011.** *Encoder Systems.* 11. 2011. pág. 64. ISBN: 16742028 / EN.
- . **2001.** *Project Planning of Drives.* 10. 2001. pág. 160. 1052-2913 / EN.
- . **2006.** *Servo Technology.* 09. 2006. pág. 144. ISBN: 11322810 / EN.
- Siemens. 2013.** *Manual de Sistema, PLC-S7-1200.* 2013.
- SILVA, A.A. y IRMAO, M.A. 2004.** *Comparacion de Representaciones Tiempo-Frecuencia Aplicadas en la Simulacion y Analisis de Fallas en Sistemas Engranados.* Campina Grande : s.n., 2004. Vol. 15. 0718-0764.
- Silva, Dirceu, Silva, Wesley y Nascimento, Daniel. 2018.** *Utilizacion de PLC para el Control Automatico en Procesos Industriales.* 2018. Vol. 2. ISBN: 2448-0959.
- Valencia, Astrid. 2016.** *Incremento de la Eficiencia Mediante la Sincronizacion de la Linea de Envasado de la Planta Cervecera Backus de Cusco con el Metodo DMAIC.* Universidad Andina del Cusco, Cusco, Peru : 2016.
- Villacis, Angel y Carate, Angel. 2011.** *Diseño y Construcción de un Modulo con Variador de Frecuencia para el Control de Velocidad de Motores Asincronos Jaula de Ardilla Trifasicos para el Laboratorio de Control Industrial.* Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador : 2011.
- Villanueva, Enrique. 2006.** *Un Enfoque Analítico del Mantenimiento Industrial.* [ed.] Cecsca. 2006. pág. 252. 9702409144.

ANEXOS

ANEXO 1

OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES INDEPENDIENTES

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	INDICADOR	MEDICIÓN
<p>Sincronización automatizada de carga y descarga de lavado de botellas de diferentes formatos</p>	<p>Este Sistema está basado en realizar la sincronización automática de los sistemas mecánicos, interactuando de forma indirecta con motores eléctricos y encoder electrónicos a través de un interfaz máquina – hombre (HMI) eliminando la intervención manual de los maquinistas en dicho sistema (Ocampo, 2009).</p>	<p>El operario deberá cargar la receta a producir de su panel de control, de tal manera que la máquina realizará de forma automática su sincronización.</p>	<p>Tiempo en los cambios de formato.</p>	<p>Horas</p>
			<p>Paradas no programadas.</p>	<p>Horas</p>

ANEXO 2

OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES DEPENDIENTES

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	INDICADOR	MEDICIÓN
Efectividad de la máquina Hidrojet-Línea 2	Es la probabilidad de que los equipos estén listos y operativos para su uso según las ordenes de producción, teniendo en cuenta el formato a producir (Ramirez, 2018).	Es el tiempo ya definido donde el operario debe realizar la regulación de ambos sistemas, este tiempo empieza desde el fin de un formato hasta el inicio de otro formato que se va a producir.	Disponibilidad	$D = \frac{T.P.P. - T.I.}{T.P.P.}$
			Rendimiento	$\eta = \frac{T.C.I. \times T.Env.}{T.Ejec.}$
			Calidad	$C = \frac{PB}{PR}$

ANEXO 3

INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Técnicas	Instrumentos
Observación directa	Ficha de observación
Análisis documental	Ficha de registro
Página de SEW	Laptop e internet
Simatic 7	PG (laptop de programación)

ANEXO 4

CERTIFICADO DE VALIDEZ DE CONTENIDO DEL INSTRUMENTO

ITEM	CRITERIOS DE EVALUACIÓN						Observaciones (si debe eliminarse o modificarse una tabla por favor indique)
	Pertinencia ¹		Relevancia ²		Cantidad ³		
	Sí	No	Sí	No	Sí	No	
1	X		X		X		
2	X		X		X		
3	X		X		X		
Aspectos generales					Sí	No	
Los instrumentos contiene instrucciones claras y precisas para el correcto llenado de parámetros.					X		
Los ítems permiten lograr la obtención de data importante para la investigación.					X		
Los ítems son suficientes para la recolección de información. En caso sea la respuesta negativa sugiera añadir ítems.					X		
VALIDEZ							
APLICABLE				X	NO APICABLE		
APLICA ATENDIENDO A LAS OBSERVACIONES							

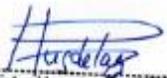
1. Corresponde al concepto teórico formulado de las variables y/o dimensiones.
2. Los ítems están apropiados para representar los indicadores y variables.
3. No se encuentra ninguna dificultad para el llenado de los cuadros siendo conciso, exacto y directo.

DATOS GENERALES DEL EXPERTO.

Apellidos y nombres: Peláez Chávez, Víctor Hugo

Profesión: Ingeniero Mecánico

Especialidad: Mecánico


 Victor Hugo Peláez Chávez
 ING. MECANICO
 R. CIP. N° 197130

Firma del experto.

C.I.P: 197130

Validez de Instrumentación por Experto 1

ANEXO 5

CERTIFICADO DE VALIDEZ DE CONTENIDO DEL INSTRUMENTO

ITEM	CRITERIOS DE EVALUACIÓN						Observaciones (si debe eliminarse o modificarse una tabla por favor indique)
	Pertinencia ¹		Relevancia ²		Cantidad ³		
	Si	No	Si	No	Si	No	
1	X		x		X		
2	X		x		X		
3	X		x		X		
Aspectos generales					Si	No	
Los instrumentos contiene instrucciones claras y precisas para el correcto llenado de parámetros.					X		
Los ítems permiten lograr la obtención de data importante para la investigación.					X		
Los ítems son suficientes para la recolección de información. En caso sea la respuesta negativa sugiera añadir ítems.					X		
VALIDEZ							
APLICABLE				X	NO APICABLE		
APLICA ATENDIENDO A LAS OBSERVACIONES							

1. Corresponde al concepto teórico formulado de las variables y/o dimensiones.
2. Los ítems están apropiados para representar los indicadores y variables.
3. No se encuentra ninguna dificultad para el llenado de los cuadros siendo conciso, exacto y directo.

DATOS GENERALES DEL EXPERTO.

Apellidos y nombres: *Alfaro Niquen Carlos Martin*
 Profesión: *Ingeniería Mecánica y Eléctrica*
 Especialidad: *Mecánico Electricista*


 Carlos Martín Alfaro Niquen
 ING. MECANICO ELECTRICISTA
 R. CIP. N° 187324

Firma del experto.

C.I.P: 187324

Validez de Instrumentación por Experto 2

ANEXO 6

CERTIFICADO DE VALIDEZ DE CONTENIDO DEL INSTRUMENTO

ITEM	CRITERIOS DE EVALUACIÓN						Observaciones (si debe eliminarse o modificarse una tabla por favor indique)	
	Pertinencia ¹		Relevancia ²		Cantidad ³			
	Sí	No	Sí	No	Sí	No		
1	X		X		X			
2	X		X		X			
3	X		X		X			
Aspectos generales					Sí	No		
Los instrumentos contiene instrucciones claras y precisas para el correcto llenado de parámetros.					X			
Los ítems permiten lograr la obtención de data importante para la investigación.					X			
Los ítems son suficientes para la recolección de información. En caso sea la respuesta negativa sugiera añadir ítems.					X			
VALIDEZ								
APLICABLE				X	NO APICABLE			
APLICA ATENDIENDO A LAS OBSERVACIONES								

1. Corresponde al concepto teórico formulado de las variables y/o dimensiones.
2. Los ítems están apropiados para representar los indicadores y variables.
3. No se encuentra ninguna dificultad para el llenado de los cuadros siendo conciso, exacto y directo.

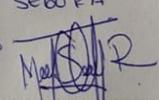
DATOS GENERALES DEL EXPERTO.

Apellidos y nombres: MIGUEL SEGURA REQUEJO

Profesión: Ingeniero Mecánico
ELECTRICISTA

Especialidad:

DISEÑO
ELECTROMECAÍNICO


MIGUEL SEGURA REQUEJO
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
REG. CIP. 240355

Firma del experto.

C.I.P: 240355

Validez de Instrumentación por Experto 3

ANEXOS SIMULACIÓN

Para la validación del diseño se utilizó la herramienta para modelado de circuitos eléctricos ZelioSoft2 V5.3.1. En la figura 49 se muestra el circuito lógico trazado y simulado, donde se estará verificando la operación descrita en el presente trabajo.

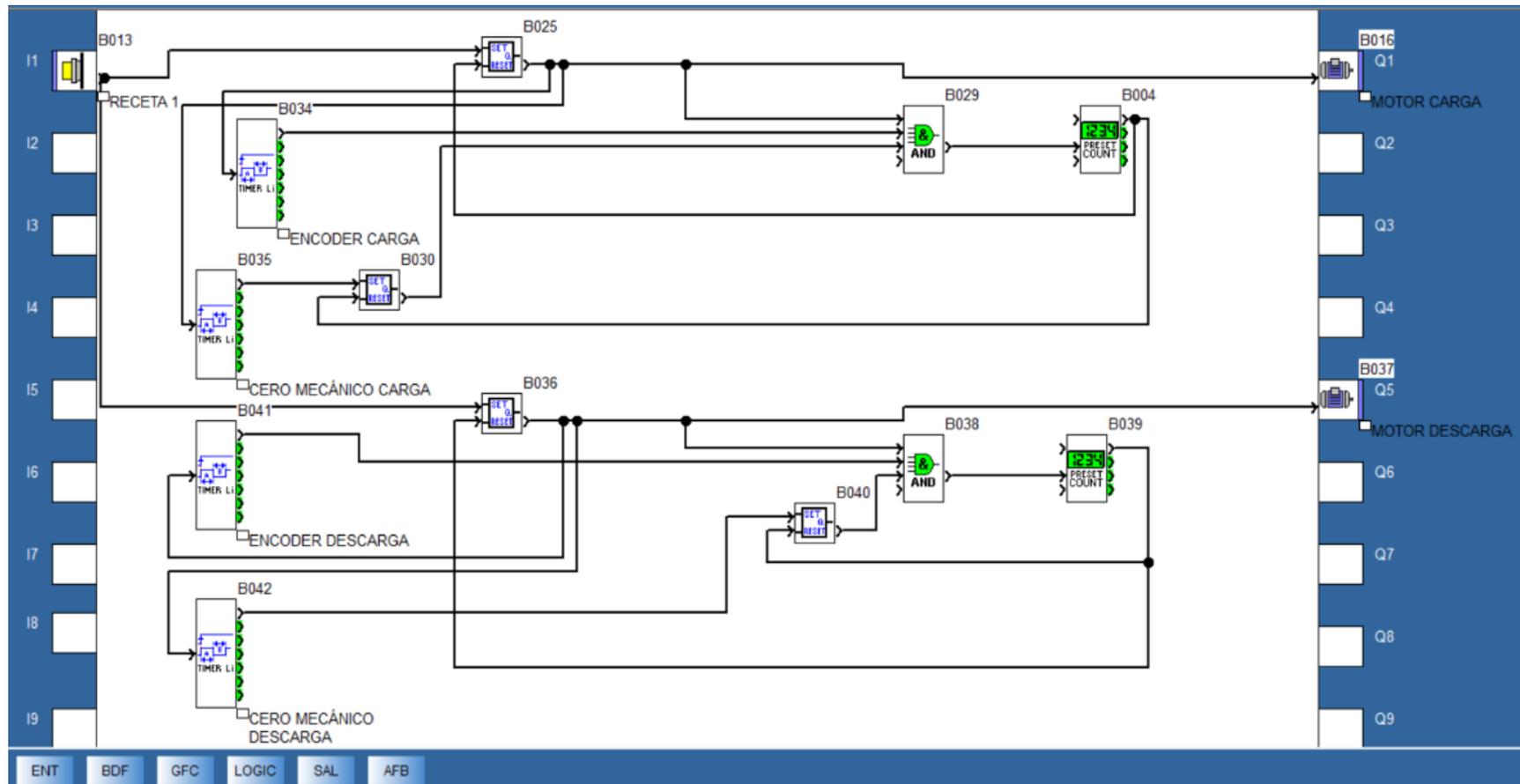


Figura 49: Circuito de diseño y simulado en lenguaje de bloques de funciones (BDF)

Fuente: Elaboración propia

En la figura 50 se puede observar el primer proceso de la simulación, se inicia al presionar el pulsador B013 llegando a activar los motores de carga (B016) y descarga (B037), y activando al mismo tiempo los encoders ópticos (B034) y (B041).

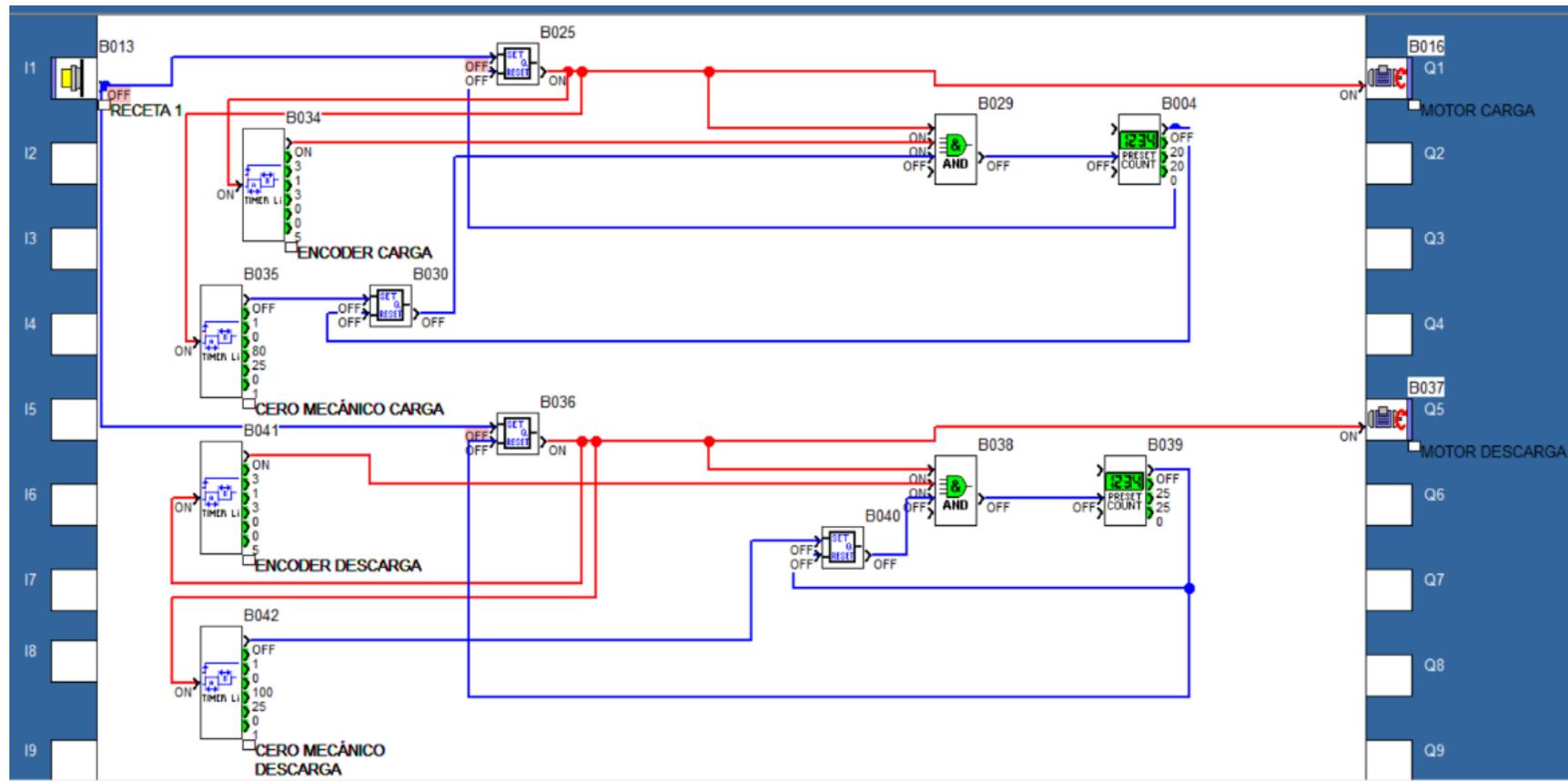


Figura 50: Inicio de la simulación

Fuente: Elaboración propia

En la figura 51 se puede observar que los motores ya llegaron a encontrar el punto cero mecánico definido por los sensores ubicados en la carga (B035) y en la descarga (B042), los cuales a su vez envían una señal a los AND codificados como (B029) y (B038), donde al momento de activarse, los contadores (B004) y (B039) empiezan a realizar el conteo de los pulsos programados, siendo 20 pulsos para la carga 25 pulsos para la descarga. Estos pulsos son enviados por los encoder (B034) y (B041).

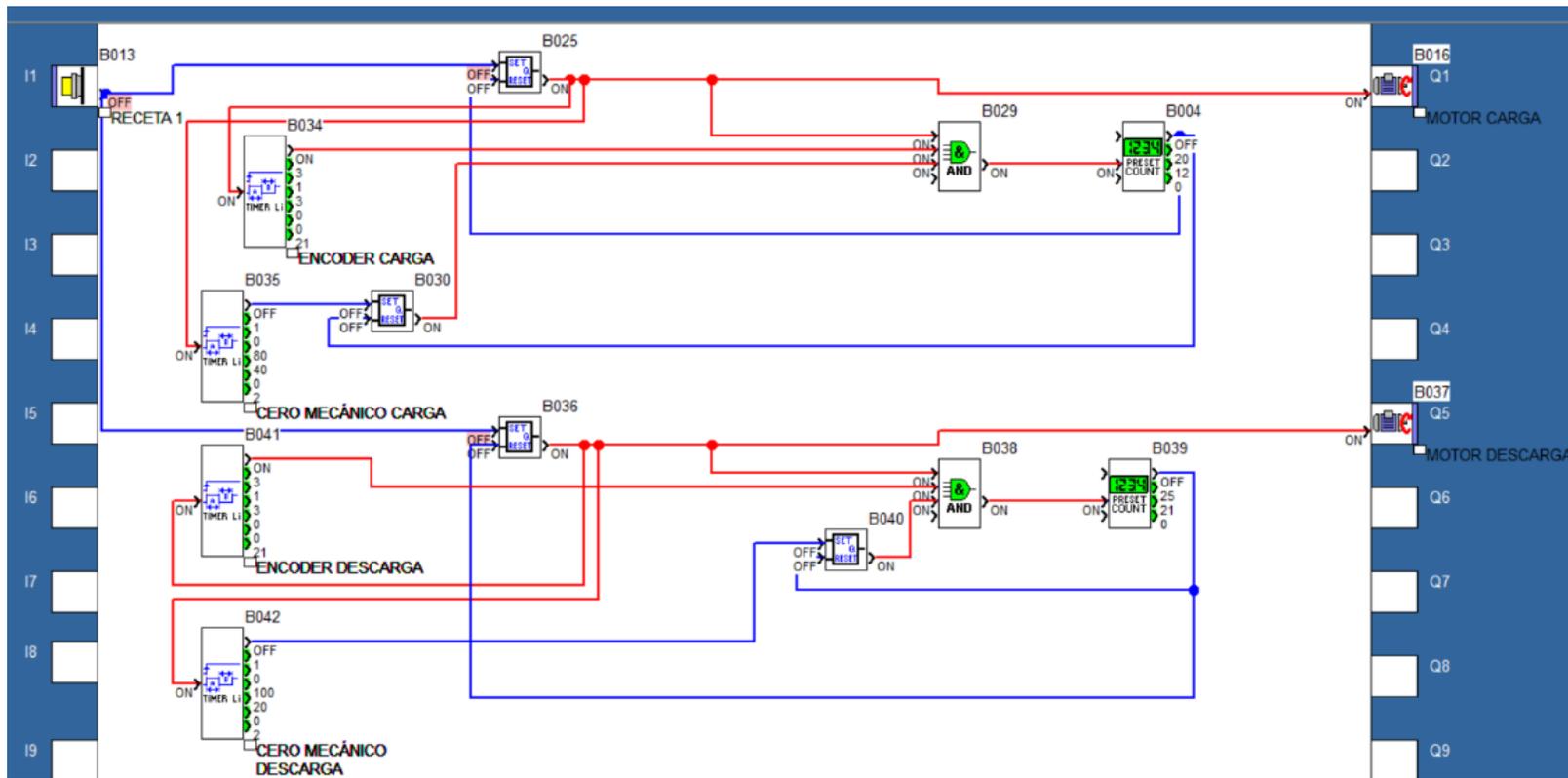


Figura 51: Definición del punto cero mecánico por los sensores

Fuente: Elaboración propia

En la figura 52, se puede observar que el contador (B004) ya llegó a contar los 20 pulsos programados, por lo que envía la señal al (B025) produciendo el apagado del motor de carga (B016).

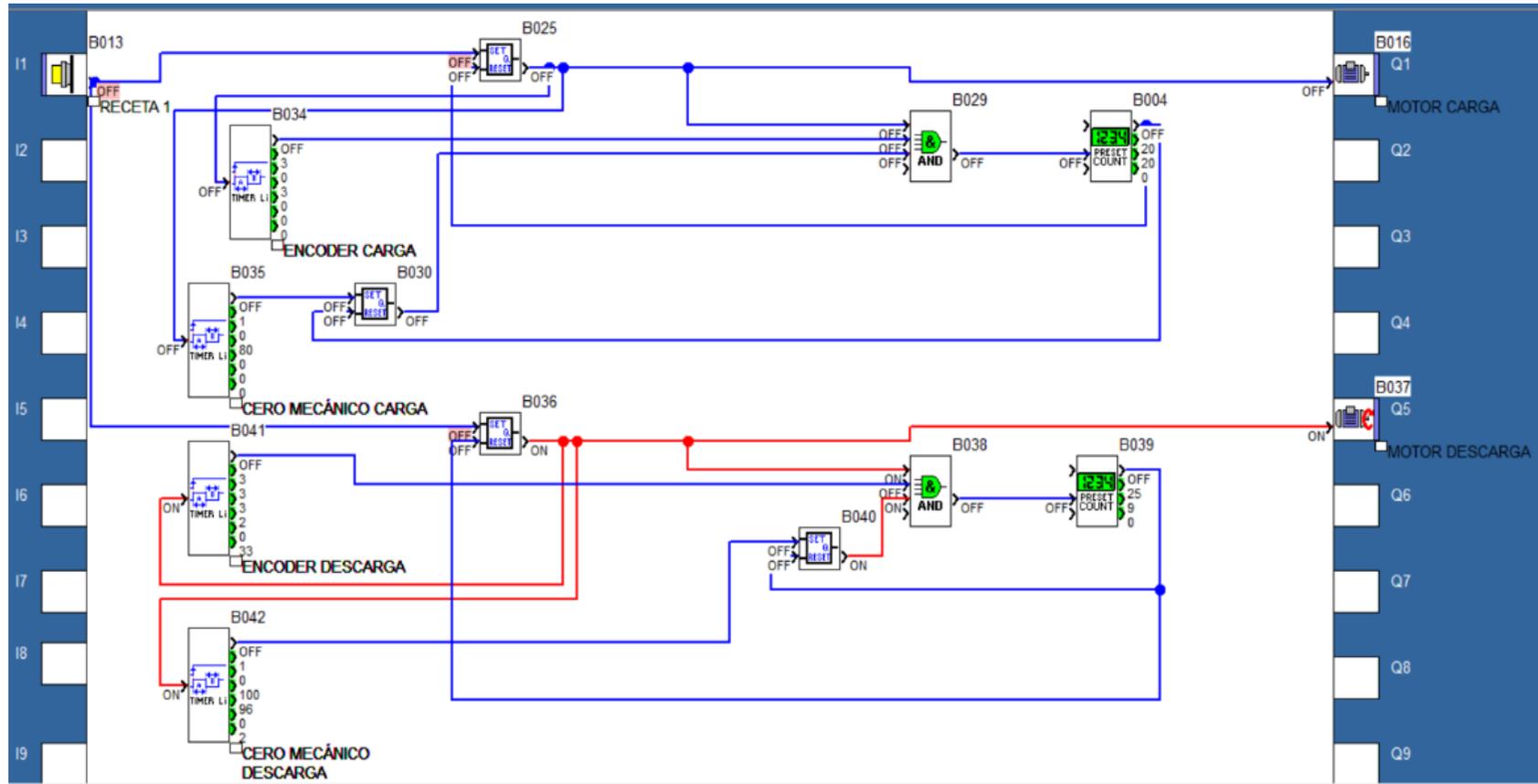


Figura 52: Conteo de los pulsos de los encoder

Fuente: Elaboración propia

En la figura 53, se puede observar que el contador (B038) ya llegó a contar los 25 pulsos programados, por lo que envía la señal al (B036) produciendo el apagado del motor de la descarga (B037).

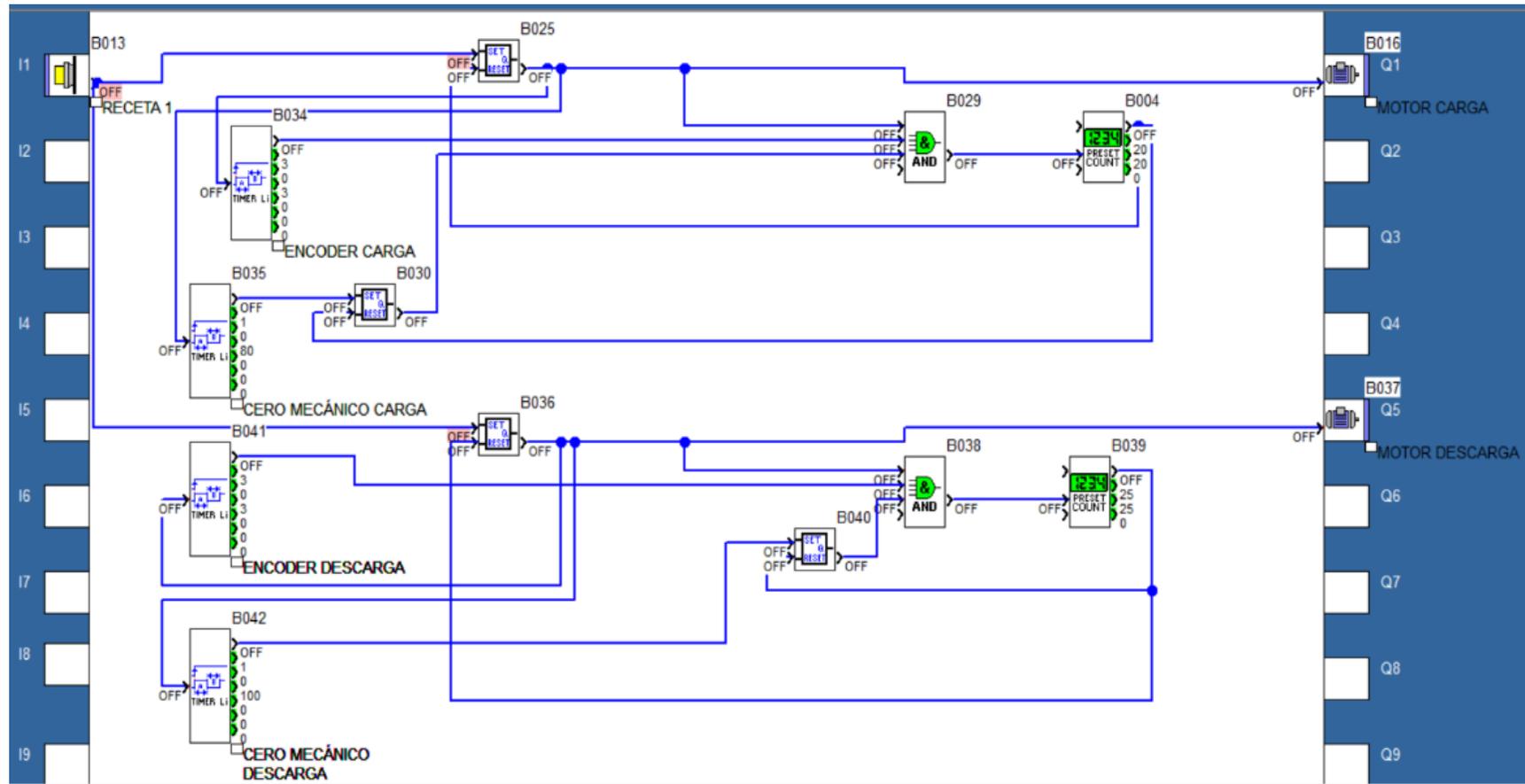


Figura 53: Sincronización de la carga y descarga

Fuente: Elaboración propia