



UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ

**PROPUESTA DE AUTOMATIZACIÓN DEL SISTEMA DE
OPERACIONES DE LA SALA DE COMPRESORES
EN LA EMPRESA ACUMULADORES DUNCAN C.A,
UBICADA EN CAGUA ESTADO ARAGUA**

Autor: Mendoza Karen

Urb. Yuma II, calle N° 3. Municipio San Diego

Teléfono: (0241) 8714240 (master) – Fax: (0241) 8712394



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
CARRERA: INGENIERÍA ELECTRÓNICA

**PROPUESTA DE AUTOMATIZACIÓN DEL SISTEMA DE OPERACIONES DE
LA SALA DE COMPRESORES EN LA EMPRESA ACUMULADORES DUNCAN
C.A, UBICADA EN CAGUA ESTADO ARAGUA**

Proyecto de Trabajo de Grado para optar al título de

INGENIERO ELECTRÓNICO

Autor: Mendoza Karen

C.I.26.570378

Tutor: Ing. Gerson Sánchez

San Diego, Julio 2022



UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
COORDINACIÓN DE PASANTÍA Y TRABAJO DE GRADO

ACTA DE APROBACIÓN

INFORME FINAL DE PASANTÍA

TRABAJO DE GRADO

El jurado designado por la Facultad de Ingeniería para la evaluación del Informe Final de Pasantía o Trabajo de Grado titulado:

Propuesta de Automatización del sistema de operaciones de la sala de compresores en la empresa Acumuladores DONCANCA ubicada en Cagua, Estado Aragua

Realizado por el (la) Br. Karen Adriana Mendoza Hostalano

C.I. N° 26570378 cursante de la carrera de Electrónica

hace constar después de analizar su contenido y oída la exposición oral, considera que el Informe Final o Trabajo de Grado ha obtenido la calificación de:

APROBADO

NO APROBADO

El Jurado

González
Tutor Académico (Coordinador)
Nombre: Gerson Sánchez
C.I.: 7143386

Antonio
Jurado
Nombre: Antonio Rodríguez
C.I.: 14923464

Wilmot
Jurado
Nombre: Wilmot Sanz
C.I.: 7130476

Fecha: 14/10/2022

[Signature]

UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
DECANATO DE INGENIERÍA



FI E 001 2022-2CR SE

Valencia, 10 de agosto de 2022

Ciudadana:
MENDOZA HORTELANO, KAREN ADRIANA
26.570.378
Presente -

Cumplo con informarle que la comisión de Trabajo de Grado y Pasantías de la Facultad de Ingeniería en su reunión N° 8-2022 de fecha 08/08/2022 aprobó el proyecto de grado titulado:


Propuesta de automatización del sistema de operaciones de la sala de compresores en la empresa ACUMULADORES DUNCAN C.A. Ubicada en Cagua, Estado Aragua.

Presentado por usted como requisito para optar al título de Ingeniero Electrónico

Se ratifica la designación del Tutor Académico que lo asesorará en el desarrollo de este proyecto a:
Ing. Gerson Jair Sánchez Ayala, titular de la cédula de identidad V- 7.143.386



Atentamente


Dr. Francisco Gelanzé Sevilla.
Decano de Ingeniería

c.c. Coordinación de Pasantías y Trabajo de Grado



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRONICA

**CONSTANCIA DE APROBACIÓN PARA LA PRESENTACIÓN
PÚBLICA DEL TRABAJO DE GRADO**

Quien suscribe, Gerson Sanchez, portador de la cédula de identidad N° V-7.143.386, en mi carácter de tutor del trabajo de grado presentado por el ciudadano Karen Mendoza, portador de la cédula de identidad N° 26.570.378, titulado PROPUESTA DE AUTOMATIZACIÓN DEL SISTEMA DE OPERACIONES DE LA SALA DE COMPRESORES EN LA EMPRESA ACUMULADORES DUNCAN C.A, UBICADA EN CAGUA ESTADO ARAGUA., presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero electrónico, considero que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte del jurado examinador que se designe.

En San Diego, a los 27 días del mes de septiembre del año dos mil veintidós.

Gerson Sanchez

C.I: V-7143.386



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
CARRERA: INGENIERÍA ELECTRÓNICA

San Diego, Julio de 2022

ACTA DE REVISIÓN METODOLÓGICA DEL TRABAJO DE GRADO

Quienes suscriben esta Acta, dejan constancia que el Proyecto de Trabajo de Grado: **PROPUESTA DE AUTOMATIZACIÓN DEL SISTEMA DE OPERACIONES DE LA SALA DE COMPRESORES EN LA EMPRESA ACUMULADORES DUNCAN C.A., UBICADA EN CAGUA ESTADO ARAGUA**, ha sido revisado y, cumpliendo con los requisitos exigido para su aprobación, recomiendan su tramitación ante el organismo académico correspondiente.

Ing. Gerson Sánchez
Tutor Académico


Firma

2-8-22
Fecha

Ing. Alicia de Pizzella
Tutor Metodológico


Firma

8-9-22
Fecha

San Diego, Julio de 2022

ÍNDICE GENERAL

CONTENIDO	Pág
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
ÍNDICE DE CUADRO.....	x
ÍNDICE DE TABLA.....	x
RESUMEN.....	xi
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPÍTULO

I EL PROBLEMA

1.1	Planteamiento del Problema.....	2
1.2	Formulación del Problema.....	4
1.3	Objetivos de la Investigación.....	5
1.3.1	Objetivo General.....	5
1.3.2	Objetivos Específicos.....	5
1.4	Justificación.....	5
1.5	Alcance y Limitaciones.....	6

II MARCO TEÓRICO

2.1	Antecedentes.....	7
2.2	Bases Teóricas.....	9
2.2.1	Aire.....	9
2.2.1.1	Aire Libre.....	9
2.2.2	Presión.....	10
2.2.3	Temperatura.....	10
2.2.4	Leyes de los gases.....	11
2.2.4.1	Ley de Boyle.....	11
2.2.4.2	Ley de Charles.....	11
2.2.4.3	Ley general de los gases.....	11
2.2.5	Compresores.....	12
2.2.5.1	Compresor de tornillo.....	12
2.2.6	Humedad.....	13
2.2.6.1	Punto de Rocío.....	14
2.2.6.2	Métodos para combatir la humedad.....	14
2.2.6.2.1	Secador de refrigeración.....	14
2.2.7	Calidad del aire.....	15
2.2.7.1	Grados de calidad del aire.....	15
2.2.7.2	Tratamientos del aire.....	15
2.2.8	Diseño de sistemas de aire comprimido.....	18
2.2.8.1	Clasificación de tuberías.....	18
2.2.8.2	Reglas de diseño.....	18
2.2.8.3	Calculo caudal de diseño.....	19
2.2.8.4	Calculo caída de presión.....	19
2.2.8.5	Calculo selección de tuberías.....	21

2.2.9	Ahorro en sistemas de aire comprimido.....	23
2.2.10	Caída de presión.....	23
	2.2.10.1 Medición de caída de presión.....	23
2.2.11	Fugas.....	24
	2.2.11.1 ¿Cuánto cuesta una fuga?.....	24
2.2.12	Sistema de control.....	25
	2.2.12.1 Sistema de control en lazo abierto.....	26
	2.2.12.2 Sistema de control en lazo cerrado.....	27
2.3	Bases legales	28
2.4	Definición de términos.....	30
2.5	Cuadro técnico-metodológico.....	31
III	MARCO METODOLÓGICO	
3.1	Tipo de Investigación.....	32
3.2	Diseño de la Investigación.....	32
3.3	Nivel de la Investigación.....	33
3.4	Población y Muestra.....	33
3.5	Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos.....	34
3.6	Técnicas de Análisis de Resultados.....	35
3.7	Fases Metodológicas.....	35
IV	RESULTADOS	
4.1	Fase	38
	1.....	
	4.1.1 Observacion directa.....	53
	4.1.2 Revision Documental	
4.2	Fase 2.....	56
4.3	Fase 3.....	61
	4.3.1 PLC Compactlogix 1679-L35E.....	60
	4.3.2 Studio 5000.....	62
4.4	Fase 4	77
4.5	Fase 5.....	81
4.6	Fase 6.....	88
	4.6.1 Factibilidad económica.....	90
	Factibilidad operativa.....	90
	Factibilidad tecnica.....	91
CONCLUSIONES.....		92
RECOMENDACIONES.....		93
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....		94
ANEXOS		

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA		Pág.
1	Sala de compresores ACUMULADORES DUNCAN C.A.	4
	...	
2	Ilustración escala de presión.	10
	
3	Escala de Temperatura.....	10
4	Clasificación de compresores.....	12
5	Compresor de tornillo.....	13
6	Tipos de métodos de secado.....	14
7	Secador refrigerador.....	14
8	Filtro ciclónico.....	16
9	Prefiltros.....	16
10	Microfiltros.....	17
11	Filtros de carbón activo.....	17
12	Factores que aumentan la caída de presión.....	18
13	Ciclo para calcula de caudal de diseño.....	19
14	Nomograma de cálculo de tubería.....	21
15	Diagrama de bloques en lazo abierto.....	26
16	Diagrama de bloques en lazo cerrado.....	27
17	PLC Compact logix 1769-135e.....	28
18	Plano de distribución de elementos que componen la sala de compresores.....	51
19	Compresor R90IU-A125	53
20	Compresor R90I-A125	54
21	Depósito de acumulación vertical	55
22	Controlador Compactlogix 1769 L35E	61
23	Diagrama de flujo automatización sala de compresores	63
23	Software Studio 5000	64
24	Elección de PLC Studio 5000	64
25	Elección de modulos	64
26	lista de Tags utilizados 1	65
27	lista de Tags utilizados 2	65
28	lista de Tags utilizados 3	66
29	lista de Tags utilizados 4	66
30	lista de Tags utilizados 5	67
31	Main program	67
32	Main routine	68
33	Subrutina entrada 1	68
34	Subrutina entrada 2	69
35	Subrutina entrada 3	69

36	Subrutina entrada 4	69
37	Subrutina entrada 5	69
38	Subrutina entrada 6	70
39	Subrutina escalamiento	71
40	Subrutina analogica	72
41	Subrutina operaciones 1	74
42	Subrutina operaciones 2	74
43	Subrutina operaciones 3	75
44	Subrutinas operaciones 4	75
45	Subrutina operaciones 5	76
46	Subrutina operaciones 6	77
47	PanelView 5310 2713P-T7WD1	77
48	Pantalla Main	78
49	Pantalla Menu	78
50	Pantalla Grafica	79
51	Pantalla Alarma	80
52	Pantalla Evento	80
53	RSLinx	81
54	Studio 5000 Logix Emulate	82
55	Pestaña “Who active”	83
56	Pestaña “Who active”2	83
57	entradas simuladas	84
58	entradas simuladas 2	84
59	simulación subrutina operaciones	85
60	simulación subrutina operaciones 2	85
61	simulación subrutina operaciones 3	86
62	simulación subrutina operaciones 4	86
63	simulación subrutina operaciones 5	87
64	simulación subrutina operaciones 6	87
65	simulación subrutina operaciones 7	88
66	Tiempo retorno inversión	80

ÍNDICE DE CUADRO

CUADRO		Pág.
1	Colores básicos para cilindros que contienen gases o líquidos....	31
2	Colores básicos para la identificación de los fluidos.....	32
3	Cuadro de operacionalización de variable.....	33
4	Lista de cotejo.....	37

ÍNDICE DE TABLAS

TABLAS		Pág.
1	Composición de aire.....	9
2	Velocidades recomendadas para diferentes tipos de tuberías.....	18
3	Índice de resistividad.....	20
4	Longitud equivalente de accesorios.....	21
5	Selección de tuberías.....	22
6	Caudal de fuga según la presión y diámetro del orificio.....	24
7	Estimación de gastos de energía según orificio de fuga.....	25
8	Descripción de actividades del proyecto.....	76
9	Costo Materiales.....	76
10	Costo Personal.....	77
11	Costo Total.....	78
12	Valor presente neutro.....	78
13	Tasa interna de retorno	79
14	Punto de equilibrio	79

ÍNDICE DE ANEXOS

TABLAS		Pág.
1	Diagrama Compresor.....	9
2	Plano 3D sala de compresores vista lateral.....	18
3	Plano 3D sala de compresores.....	20
4	Salario colegio de ingenieros.....	21



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSE ANTONIO PAEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
CARRERA: INGENIERÍA ELECTRÓNICA

**PROPUESTA DE AUTOMATIZACIÓN DEL SISTEMA DE OPERACIONES DE
LA SALA DE COMPRESORES EN LA EMPRESA ACUMULADORES DUNCAN
C.A, UBICADA EN CAGUA ESTADO ARAGUA**

Autores: Karen Mendoza
Tutor: Ing. Gerson Sánchez
Fecha: Julio, 2022

RESUMEN

Los sistemas neumáticos en los últimos años han sido parte fundamental en las empresas manufactureras ya que estos realizan tareas que anteriormente significaban grandes retos y esfuerzos humanos, permitiendo así que hoy en día un proceso productivo pueda ser más autónomo, rápido, seguro y eficaz. Al ser una parte muy importante en el área productiva de una empresa, cualquier falla, o avería en el suministro de aire comprimido, se traduciría en grandes pérdidas económicas, y la empresa ACUMULADORES DUNCAN C.A. no es la excepción, es por esto que el presente proyecto de grado tiene como propósito, realizar una propuesta de automatización a la sala de compresores de la empresa en cuestión, que permita operar, alternar e integrar los compresores que se encuentran en dicha sala. Para llevar a cabo el mencionado sistema de control es necesario el constante estudio de los elementos que componen la red de aire comprimido que alimenta a la empresa, además de estudiar en diferentes casos cómo se comporta la presión de aire en las distintas áreas. Se realizó la investigación del tipo proyectista y una modalidad de investigación descriptiva con un diseño mixto, por lo tanto, se elaboró un diseño de campo, como técnica de recolección de datos se utilizó la revisión documental y observación directa, y como instrumento, se aplicará una lista de cotejo. Dicho trabajo de investigación tendrá como propósito alargar la vida útil de los compresores de aire, así como mejorar el proceso productivo reduciendo fallas, caídas de presión y paradas no programadas a causa del suministro de aire comprimido. La línea de investigación correspondiente al trabajo de grado es Automatización Industrial.

Descriptores: sistema de control, compresores, caída de presión.

INTRODUCCIÓN

Actualmente, según los resultados de las observaciones realizadas en el presente trabajo de grado, uno de los problemas que se manifiestan en la empresa ACUMULADORES DUNCAN C.A. es que los equipos que forman parte de la sala de compresores no cuentan con un sistema automatizado para cumplir con las exigencias de presión en la planta. Lo cual afecta el proceso industrial de la misma, provocando paradas en el proceso productivo y pérdidas económicas, lo cual traería consecuencias inimaginables a la empresa en cuanto a la producción.

En consecuencia, se propone la automatización del sistema de operación de la sala de compresores lo cual solventara los problemas que causan estas irregularidades en el suministro de aire comprimido.

Para ello se propone automatizar el sistema mediante un software que permita la operación automática, alternancia e integración de los compresores, donde además el usuario será capaz de monitorear y observar el comportamiento de la presión del sistema, y del estado en general de los equipos en tiempo real, controlando las acciones del dispositivo, a través de un HMI, para poder hacerlo más amigable con los usuarios autorizados del área. El presente trabajo de investigación está estructurado en cuatro capítulos, con el fin de cumplir las normativas establecidas por la Universidad José Antonio Páez, dichos capítulos se describen a continuación:

Capítulo I: Se genera el planteamiento del problema de estudio, seguido por una serie de preguntas que conllevan al objetivo general y los objetivos específicos del trabajo de investigación, para de esta manera establecer el punto de inicio de la misma.

Capítulo II: Se plasman los antecedentes que de una manera u otra han sido significativos para la elaboración del trabajo de grado y se definen las bases teóricas en base a las cuales se llevó a cabo la investigación.

Capítulo III: Se declara la metodología empleada y los métodos, técnicas y/o procedimientos empleados en el estudio para obtener una información confiable para de esta manera, poder realizar una investigación eficaz.

Capítulo IV: En este Capítulo se especifican los recursos utilizados para la investigación, como lo son los recursos humanos, materiales, institucionales.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1 Planteamiento del problema

El aire comprimido ha sido una herramienta muy utilizada desde hace muchos años dando entrada a lo que se conoce hoy como neumática, esta palabra proviene del griego que se interpreta como viento o soplo, donde las primeras aplicaciones registradas en el mundo datan del año 2.500 a.C. por medio del uso de muelles de soplado (el primer compresor mecánico), el cual fue creado durante la mitad del tercer milenio a.C. al igual que el fuelle de pie el cuál fue empleado el año 1.500 a.C. Uno de los primeros en registrar sus aportes sobre la neumática industrial y uso del aire comprimido, fue el investigador griego Ktesibios (285 a.C.) quien escribió los primeros conceptos relacionados al tema y considerado el padre de la neumática.

Gracias a estos descubrimientos la energía neumática a través del aire comprimido (Compresores de aire) ha tenido un invaluable aporte en los procesos industriales en los últimos años, desempeña un papel imprescindible y actualmente se usa para hacer más fácil el movimiento mecánico de herramientas neumáticas, puertas industriales, elevadores, cadenas de montaje de la industria automovilística, estaciones de maquinaria de cadenas de producción, etc. La teoría de suministro de aire comprimido es basada en la interpretación del aire como un gas, debido a que posee en su estructura masa y volumen, además de ser un fluido compresible como el nitrógeno y otros gases inertes.

De tal manera, se obtiene el principio de transmisión de energía, todo esto con el fin de mejorar las condiciones de operatividad enfocados en la reducción de mano de obra, costos y en la eficiencia de los procesos que se llevan a cabo en las organizaciones empresariales. En la actualidad, el manejo de la energía neumática, es una técnica que ha contribuido con el mejoramiento y optimización de muchas actividades o procesos que se requieren a diario para la transformación del entorno y la adquisición de elementos para un mejor nivel de vida.

En la ingeniería, el campo de la neumática ofrece una gran serie de elementos neumáticos adaptados a cualquier aplicación los cuales resultan útiles al permitir realizar un trabajo físico que en ocasiones no puede desempeñar el hombre, o integran componentes de sistemas sin los cuales sería imposible obtener un resultado final.

Los sistemas de aire comprimido pueden variar ampliamente en tipo y tamaños. Entre los sistemas neumáticos podemos encontrar las distintas unidades compresoras como son las de tipo desplazamiento positivo, los cuales son los compresores de tornillo, de pistón, de scroll, y los compresores del tipo dinámico, entre otros. En muchas plantas industriales los compresores de aire son vitales para el proceso, y por tanto, las ineficiencias en el sistema de aire comprimido resultan muy costosas.

Al hablar de procesos (Reyes,2021,p2) cita:

...A nivel mundial se tiene la tendencia a mejorar y automatizar todos los procesos productivos para alcanzar eficiencia con altos estándares de calidad en los productos a comercializar. Al pasar del tiempo y a medida que el mundo se desarrolla, se van modificando los procesos productivos industriales y con ello se mejoran las plataformas de desarrollo para cumplir con tales exigencias, por ello es necesario introducir sistemas capaces de controlar procesos bastante grandes o pequeños por sí solos, dando paso a los llamados sistemas automatizados de control y supervisión.

Ahora bien, los sistemas de aire comprimido no escapan del proceso de automatización y requieren la presencia y el continuo monitoreo a través de sensores para la medición de la variable presión la cual dictara la presión requerida de la planta.

En Venezuela, existen muchas empresas del sector manufactura que poseen como parte vital de su proceso los sistemas de aire comprimido, una de ellas es la, llamada Fundición del Centro C.A, empresa ubicada en el estado Aragua, pertenecientes al grupos Duncan, encargada del proceso de obtención y tratamiento de la materia prima utilizada para fabricar distintas baterías, en su mayoría, baterías de vehículos y medios de transporte, la cual instalo un sistema de control automatizado para su sala de compresores.

Continuando con la idea anterior, el grupo Duncan posee otra empresa, la cual lleva el nombre de Acumuladores Duncan. C.A. ubicada en Cagua, estado Aragua. En esta empresa se encuentra una sala de compresores de aire que consta de siete (7) compresores marca Ingersoll rand del modelo R90I-A125(4), R90IU-A125(3)

Las unidades mencionadas en el párrafo anterior tienen cada una de ellas un control automático de arranque (stand alone) que como su nombre lo dice, supervisa, arranca y detiene la unidad compresora sin importar el estado de las unidades restantes, por este motivo se han presentado casos de problemas en su funcionamiento. Entre los problemas que suelen presentarse esta que no arranquen en secuencia los compresores y en otras oportunidades solamente un

equipo realiza la operación todo el turno, lo que conlleva a un mayor desgaste de esa unidad, además de que tiene que intervenir un personal externo a sala de máquinas generalmente un personal de mantenimiento o producción para apagar una unidad compresora y encender otra cuando hay déficit de presión en planta.

Entre las maniobras que tienen que realizar de manera manual el personal, están sacar de línea la unidad compresora que tiene mucho tiempo en el turno, luego abrir la línea de la unidad que va a sustituirla, encender un segundo y hasta un tercer compresor si lo requiere el sistema. Cabe mencionar que existe un compresor de respaldo en caso que falle uno de ellos, el operador deberá encenderlo y dejarlo como back up. (Ver figura 1)



Figura 1: Sala compresores ACUMULADORES DUNCAN C.A.

Fuente: Mendoza (2022)

1.2 Formulación del problema

Una vez entendida la importancia del suministro de aire comprimido en un proceso industrial, ¿Cómo se puede mejorar el proceso de operación y eficiencia de los compresores, de modo que se eviten deficiencias o fallas a causa de la mala manipulación del sistema en la empresa ACUMULADORES DUNCAN C.A.?

1.3 Objetivos de la investigación

1.3.1 Objetivo general

Proponer la automatización del sistema de operación de la sala de compresores en la empresa ACUMULADORES DUNCAN, C.A. Ubicada en Cagua, estado Aragua.

1.3.2 Objetivos específicos

- Diagnosticar la situación actual de operación del conjunto de compresores en la empresa ACUMULADORES DUNCAN C.A. Ubicada en Cagua Estado Aragua.

- Identificar los puntos críticos en la operación de la sala de compresores en la empresa ACUMULADORES DUNCAN C.A. ubicada en Cagua Estado Aragua.
- Diseñar un sistema automático de operación de alternancia e integración de los compresores en la empresa ACUMULADORES DUNCAN C.A. ubicada en Cagua Estado Aragua.
- Diseñar una interface hombre maquina (HMI) que muestre la operación de alternancia y puntos críticos de funcionamiento de la sala de compresores de la empresa ACUMULADORES DUNCAN C.A. ubicada en Cagua Estado Aragua.
- Implementar un sistema de simulación para mostrar de manera virtual, el funcionamiento del sistema antes de su puesta en marcha.
- Realizar una gestión de costos para la automatización del sistema de operación de la sala de compresores de la empresa Acumuladores Duncan C.A. ubicada en Cagua Estado Aragua.

1.4 Justificación de la investigación

El constante avance de la tecnología, en los procesos domésticos e industriales se manifiesta en la vida diaria. Producto de este avance es la automatización de procesos, anteriormente realizados por el hombre, y una de sus consecuencias son las continuas facilidades proporcionadas a las distintas actividades que realiza el hombre principalmente en los procesos industriales. La automatización permitió el avance en la modernización tecnológica industrial dando la posibilidad de diseñar y construir equipos sofisticados ajustados a las necesidades del quehacer diario en la industria.

Es por esto, que esta investigación tiene como propósito aportar fundamentos teóricos y prácticos que permitan automatizar el sistema de operación de la sala de compresores en la empresa ACUMULADORES DUNCAN, C.A. Ubicada en Cagua, estado Aragua. Esta investigación ofrece un aporte práctico al permitir el ahorro del tiempo, facilidad de uso, innovación y mejoramiento en las condiciones de funcionamiento del sistema de operación de los compresores.

En el aspecto económico esta innovación tecnológica a las salas de compresores industriales permite a los empresarios disminuir costos energéticos, de mano de obra, y en seguridad del operario. Además, permite maximizar ganancias debido al aumento de la calidad de los productos, con un reintegro de la inversión en automatización y control a corto plazo.

1.5 Alcance y limitaciones

El desarrollo de la investigación se extiende hasta la ingeniería de diseño y control, con el fin de alcanzar una mejora en el sistema de operación de la sala de compresores para así disminuir el desgaste innecesario de los equipos, optimización del funcionamiento de la sala de compresores, el monitoreo continuo del proceso y el tiempo de respuesta ante un cambio de carga. La fase de implementación deber ser considerada por la empresa ACUMULADORES DUNCAN C.A, ubicada en Cagua estado Aragua

El proyecto de investigación está limitado al desarrollo de un diseño automatizado para el control de la sala de compresores de la empresa ACUMULADORES DUNCAN C.A, dicho trabajo de grado tiene un tiempo estimado de desarrollo de 4 meses y al ser una propuesta se evaluará el costo valor de cada componente a utilizar según su función.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

A continuación, se presenta algunas investigaciones que presentan aportes significativos con respecto a la automatización y control de presión y de procesos en general, así como también algunos estudios sobre funcionamiento y desempeños de compresores de tornillo. Estos aportes pueden ser considerados relevantes para esta investigación debido a la influencia e importancia de sus resultados, y la posible utilidad en cuanto a su visión de la realidad industrial.

Binetti, G (2019) en su investigación titulada, **“Propuesta de automatización para el sistema de tapado de los envases de tempera y pintura al frío en una empresa química”** Presentado para optar por el título de ingeniero electrónico, en la Universidad José Antonio Páez, ubicada en el estado Carabobo, municipio San Diego. La presente investigación trata sobre el estudio y diagnóstico de las tecnologías recomendables para lograr automatizar el sistema de tapado de envases como se menciona en el título, para posteriormente diseñar la programación del mismo, Esta investigación muestra el estudio realizado por el ingeniero con el fin de presentar a la empresa QUEEN QUÍMICA CA, una propuesta de automatización adaptada a sus necesidades que cumpla con el fin de la investigación aunado a eso, determinaron que la herramienta a utilizar para dicha automatización es el PLC S7-1200 de siemens en el lenguaje KOP, también le diseñaron una interfaz HMI para facilitar la comunicación con el usuario.

La antes mencionada sirve de antecedente ya que permite conocer el proceso de diagnóstico de equipos a utilizar para lograr la automatización de un proceso, y la comunicación amigable con el operador de la línea o proceso mediante una interfaz hombre máquina, siendo esto parte de los objetivos planteados en este trabajo de grado.

De la misma manera Barrera, G (2018), en su trabajo de Diploma titulado **“Diseño de un sistema de aire comprimido para la empresa MONCAR de Santa Clara”** presentado en la Universidad Central Marta Abreu de las Villas, Cuba. El presente trabajo aborda el campo de la neumática y en particular el diseño de una red de aire comprimido perteneciente a la UEB MONCAR Centro, de Santa Clara. Para ello, se realizó un estudio sobre el tema de la neumática en general y de los componentes necesarios para una instalación de este tipo. En base a lo anterior se seleccionaron los principales elementos que conforman el sistema, de acuerdo a las exigencias de la planta y a las condiciones de la misma. En ese sentido se determinó,

primeramente, basado en la Norma ISO 8573-1, el flujo de salida de la sala de compresores necesarios, a partir del consumo de aire de las herramientas a utilizar. A partir de esos valores se determinaron los diámetros de las tuberías y sus respectivas dimensiones, las caídas de presión y el volumen del depósito de almacenamiento. Además, se determinaron la cantidad y tipos de accesorios, entre ellos: válvulas, uniones, manómetros, etc. Y por último, se realiza una valoración económica y se muestra toda la documentación técnica para la construcción y montaje del mismo.

Este trabajo de investigación sirve como antecedente porque cuenta con información de vital importancia para el conocimiento mecánico y físico de los sistemas neumáticos ya que antes de proceder a plantear una propuesta de automatización, es necesario saber y entender cómo debe estar construida dicha área, cuáles son los equipos que la componen, los cálculos necesarios para que cumpla con la demanda exigida y cuáles son las normas que rigen el funcionamiento.

Finalmente, Procil, M (2020), en su trabajo de grado titulado “**Diseño e Implementación de un Sistema de monitoreo energético para red de aire comprimido en una planta industrial**”. Presentado para optar el título profesional de ingeniero electrónico en la Universidad Tecnológica del Perú. Para este proyecto, se diseña e implementa un sistema de monitoreo energético para la red de aire comprimido de una empresa del rubro de pinturas con el objetivo de determinar la relación costo/caudal que representa para la compañía la generación de aire comprimido. Para la implementación, este sistema integra una pantalla HMI con funcionalidad de registrador, transmisores de flujo de aire, un sensor de presión, pinzas amperimétricas y un módulo remoto mediante el protocolo de comunicación industrial MODBUS RTU con el objetivo de recolectar la información de la red de aire comprimido, seguidamente se analiza la información registrada.

Este proyecto sirve de guía ya que en el trabajo de grado en curso se busca desarrollar un programa que permita monitorear el estado de los compresores, su funcionamiento y fallas, todo con el fin de poder mejorar su rendimiento y funcionamiento, no solo en la sala donde se encuentra los compresores en cuestión, el secador y los pulmones, sino también las presiones en planta a través de instrumentos de medición de presión electrónicos, y que todo esto sea posible visualizarlo a través de una interfaz gráfica (HMI).

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Aire:

Podría definirse como un gas incoloro e insípido dentro de cuya configuración posee distintos gases, según se describe en la tabla 1.

Tabla 1. Composición del aire.

COMPONENTE	PORCENTAJE EN VOLUMEN
Nitrógeno	78.09
Oxígeno	20.95
Argón	0.93
Dióxido de carbono	0.03

Fuente: Bonilla (2014)

2.2.1.1 Aire libre Nm³/min: Luego de haber analizado lo descrito, se puede inferir que el aire depende de las condiciones climáticas y geográficas; por lo tanto, es un reto de la ingeniería establecer un punto de referencia para los aparatos y demás artículos neumáticos con respecto al consumo que requiere. Por ejemplo, la cantidad de aire que puede suplir un compresor cercano a nivel del mar en una zona costera no será el mismo que podrá suministrar en una zona montañosa

Por lo tanto, para contar con un sistema estándar, se maneja el concepto de aire libre, el cual no depende de estas condiciones, sino que está anclado a la presión atmosférica y temperatura de 20°C con una humedad relativa de 36%:

$$Q = Q_1 \left(\frac{P + 101325 \text{ Pa}}{101325 \text{ Pa}} \right)$$

Donde: Q₁ es el caudal a las condiciones del lugar y P, la presión de aire comprimido en pascales.

2.2.2 Presión:

La presión del aire es la fuerza que hace el aire sobre una superficie, Cuanto mayor es la masa y la velocidad de las moléculas del aire, más presión ejercen. (Guirao, 2021). (Ver figura 2)

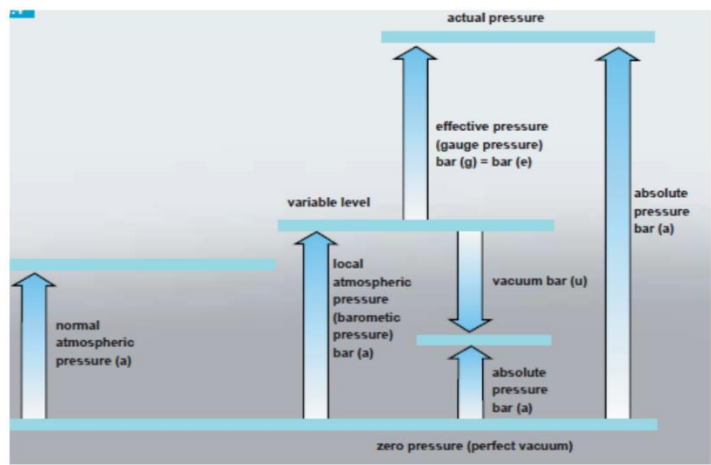


Figura 2. Ilustración de escalas de presión
Fuente: Atlas Copco (2010)

2.2.3 Temperatura:

La temperatura es una magnitud física que indica la intensidad de calor o frío de un cuerpo, de un objeto o del medio ambiente, en general, medido por un termómetro. La temperatura mide en cierta manera la energía asociada al movimiento o energía cinética de las partículas que componen la materia bajo estudio, la temperatura de un objeto indica la energía cinética interna media (debida al movimiento de las moléculas) de un objeto. (Ver figura 3)

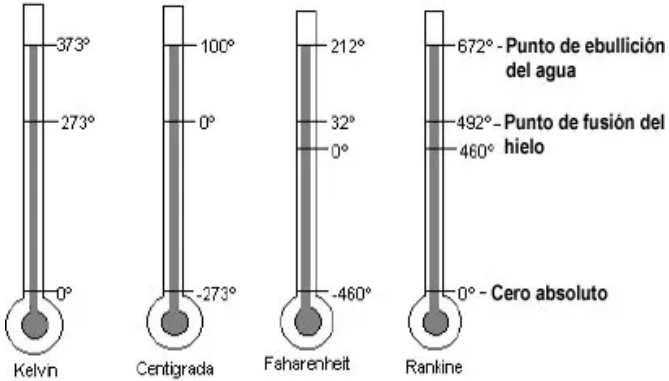


Figura 3. Escalas de temperatura
Fuente: Ms ingeniería (2018)

2.2.4 Leyes de los gases:

Las leyes de los gases son un conjunto de leyes químicas y físicas que permiten determinar el comportamiento de los gases en un sistema cerrado.

2.2.4.1 Ley de Boyle: La presión absoluta y el volumen de una masa dada de un gas confinado son inversamente proporcional, mientras la temperatura no varíe dentro de un sistema cerrado. La presión y el volumen de un gas ideal están inversamente relacionados: cuando uno sube el otro baja y viceversa. La ecuación es la siguiente:

$$P_1 \times V_1 = P_2 \times V_2$$

Donde: P es presión y está dada en pascales y V es volumen, está dado en m^3 .

2.2.4.2 Ley de Charles: A presión constante, el volumen de una cantidad dada de un gas ideal aumenta al aumentar la temperatura, es decir, si la temperatura es constante (isotérmica), entonces el volumen varía en función de la temperatura.

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

Donde: V es volumen y está dado en m^3 y T está dado en Kelvin (K)

- **2.2.4.3 Ley general de los gases:** es una combinación de las leyes descritas, en donde se involucra la constante individual de los gases.

$$\frac{P \times V}{T} = R$$

Donde: P es presión absoluta en Pascales, V es volumen específico en m^3/kg , T es temperatura en Kelvin y R es la constante individual de los gases ideales.

2.2.5 Compresores

Los compresores son los encargados de producir el aire comprimido, impulsados por motores eléctricos o de combustión.

Como se muestra en la figura 4, los compresores se clasifican en dinámicos y de desplazamiento. Los dinámicos se dividen en tres: radiales, axiales y eyector, mientras que los compresores de desplazamiento se dividen en dos grupos: los de pistón y los de rotor.

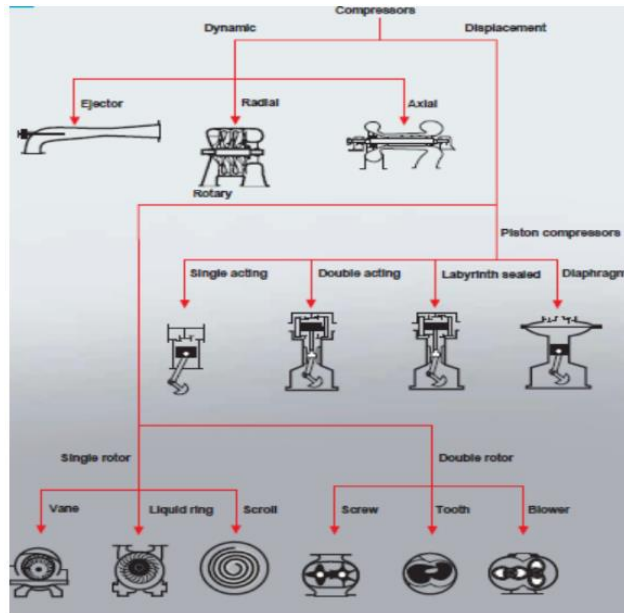


Figura 4. Clasificación de compresores.

Fuente: Atlas Copco (2014).

2.2.5.1 Compresor de tornillo:

Es uno de los compresores de amplio uso industrial, y son los utilizados en la empresa ACUMULADORES DUNCAN C.A, cuyos orígenes datan de la década de los 30. Fueron creados por Alf Lysholm. Este utiliza dos rotores para crear la presión necesaria para comprimir el aire. Son uno de los tipos de compresores de aire más fáciles de usar y mantener. Equivalentes a los compresores de desplazamiento positivo, son compresores dinámicos, Las piezas principales del compresor de tornillo son los rotores macho y hembra, que giran en direcciones opuestas. De este modo, se aspira aire comprimido a medida que disminuye el espacio entre los rotores y su carcasa.



Figura 5. Compresor de tornillo.

Fuente: Mendoza (2022).

2.2.6 Humedad

Producto del proceso de compresión, el aire suma presión, disminuye su volumen y aumenta su temperatura. Este aumento de temperatura hace que pueda retener mayor cantidad de vapor de agua, sin embargo, a través del tiempo, el aire llega a alcanzar la temperatura ambiente en donde deberá perder temperatura y, por consiguiente, capacidad de retener vapor de agua.

Por otro lado, al disminuir la capacidad de retener agua, se genera condensación, ahora bien, la razón de evitar agua dentro del sistema de aire radica en que este es un fluido incompresible, aunado a esto, la humedad provoca aumento en la velocidad de corrosión dentro de las tuberías de hierro, así como en algunas herramientas; asimismo, podría traer consigo pérdidas de calidad de productos, reprocesos y demás problemas que impiden la productividad.

Lo anterior trae consigo una discusión y mucho análisis. A continuación, se habla acerca de una de las formas para determinar la humedad.

2.2.6.1 Punto de rocío:

Es también llamado punto de condensación, se usa para determinar el límite al cual se producirá condensado; es decir, si la temperatura desciende de este punto se producirá agua.

Seguidamente, interesa comprender que el punto de rocío depende no sólo de la temperatura, sino que también varía según la presión, según el Manual de Aire Comprimido (2010), el punto de rocío a 7bar es de +2°C será equivalente a -23°C a presión atmosférica.

2.2.6.2 Métodos para combatir la humedad:

Para extraer la humedad del aire comprimido se utilizan los secadores, estos son dispositivos que se subdividen como se muestra en la figura 6:

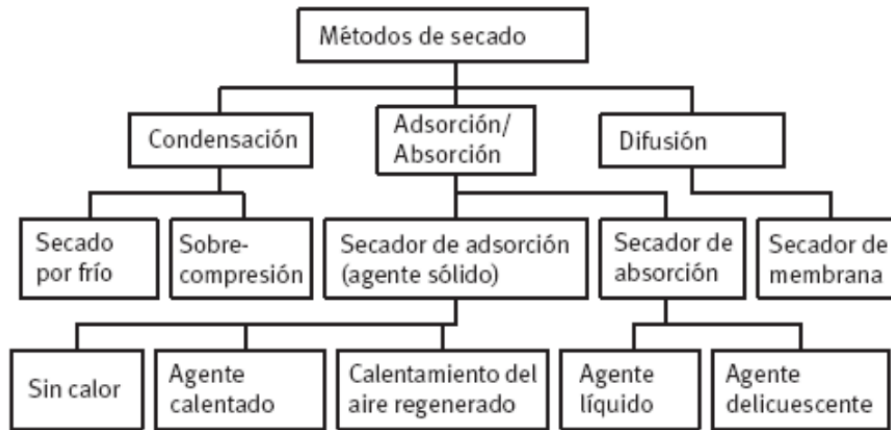


Figura 6. Tipos de métodos de secado

Fuente: Garro Zavaleta. (2014).

Según el Manual de Aire Comprimido (2010), es probable disminuir cerca del 80% a 90% de la humedad del aire. A continuación, se describe el secador utilizado en la empresa ACUMULADORES DUNCAN C.A.

Secadores de refrigeración:

Tienen dentro de su configuración un circuito de refrigeración cuya función es enfriar el aire y hacerlo perder humedad, su principal ventaja es que disminuyen en alto grado el punto de rocío. (Ver figura 7)



Figura 7. secador de refrigeración

Fuente: Mendoza (2022).

2.2.7 Calidad del aire

Una vez conocido lo anterior y el fenómeno de la humedad que se da producto del aire comprimido, queda por estudiar el tratamiento que debe recibir el aire en función de la aplicación.

2.2.7.1¿Grados de calidad?:

Para tener una mayor claridad sobre los sistemas de aire comprimido con respecto al tema de calidad, es necesario que dentro de este informe se mencione la normativa internacional que regula el grado de calidad del aire; esta norma es ISO 8573. Dentro de ésta hay una serie de normas que aplican en temas de tratamientos del aire, así como los contenidos de partículas, humedad, microorganismos y aceites permitidos.

La clasificación según el grado de calidad está en función de la aplicación e industria que utilice el aire, pues se habla de clase 1, cuando se trata de industria alimenticia, farmacéutica, cuartos limpios, etc., mientras que, si se habla de clase 6, se trata de industria de la construcción, entre otras.

2.2.7.2 Tratamientos del aire:

Anteriormente se conocieron las técnicas para extraer la humedad del aire, sin embargo, también se vio que la calidad del aire también vincula tres factores más: partículas, aceite y microorganismos.

Para alcanzar una pureza del aire se deben involucrar los filtros, que se analizan a continuación.

Filtro ciclónico:

El aire circula a través del filtro desprendiéndose en la parte inferior de las partículas; estos filtros tienen entre sus características una caída de presión superior a 0,05 bar, una eficiencia de 95% y capacidad de filtración mayor a 50 µm. (Ver figura 8)

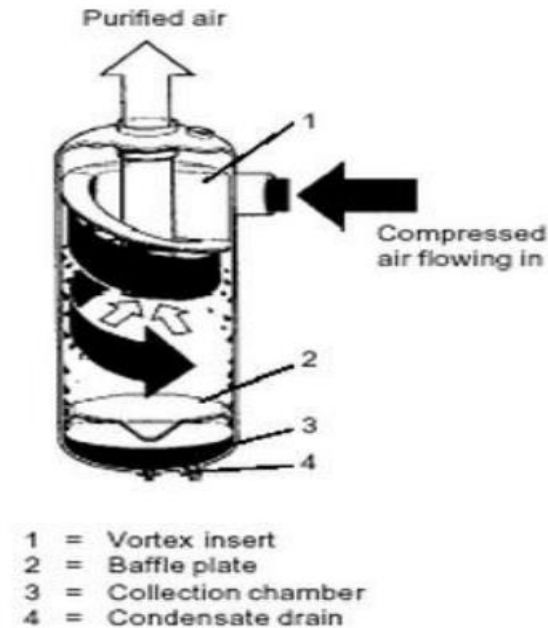


Figura 8. Filtro ciclónico

Fuente: Boge. (2014)

Pre-filtros:

Tienen la virtud de filtrar partículas hasta $3\mu\text{m}$, con una eficiencia de 99,99 y caídas de presión no mayores 0,03 bar. Tienen la principal ventaja de ser reutilizables, ya que sus partes internas pueden reemplazarse. (Ver figura 9)



Figura 9. Prefiltro Boge Seri V.

Fuente: Boge (2014).

Microfiltros:

Son usados cuando es requerido un alto nivel de calidad de aire, están conformados de una serie de fibras individuales que atrapan las partículas a tamaños no mayores de $0,01\mu\text{m}$, poseen una caída de presión mayor o igual a 0,1 bar y una eficiencia de 99,9999%. (Ver figura 10)

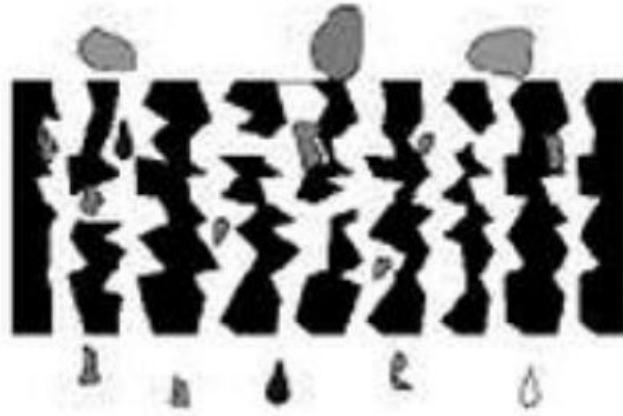


Figura 10. Forma de filtrado de microfiltro
Fuente: Boge (2014).

Filtros de carbón activo:

Son filtros capaces de retener tanto aceite como agua y disminuir su presencia hasta 0,0005 mg/m³, dejando en evidencia su virtud; a su vez, pueden filtrar partículas no menores a 0,01 µm; habitualmente se tienen en conjunto con los microfiltros. Por otro lado, en su mayoría, los elementos filtrantes de carbón tienen una vida de 1000 horas, por lo que deben sustituirse. (Ver figura 11)

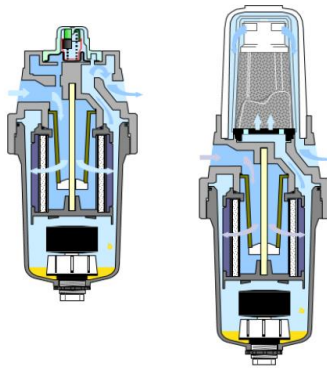


Figura 11. Filtro de carbón activo
Fuente: Garro Zavaleta. (2014).

2.2.8 Diseño de sistemas de aire comprimido:

La presente sección de este marco teórico es una descripción de los parámetros y las consideraciones que forman parte del diseño de un sistema de aire comprimido.

2.2.8.1 Clasificación de tuberías:

Tubería principal: es la tubería que va desde el depósito y distribuye la totalidad del caudal de aire.

Tubería secundaria: distribuye el aire desde la tubería principal hacia las áreas de trabajo.
 Tubería de servicio: viaja desde la tubería secundaria hasta los equipos también conocidos como bajantes.

Tubería de interconexión: es la que conecta el equipo con el bajante.

2.2.8.2 Reglas de diseño:

-Regla #1: se admite una pérdida de presión no mayor a 2% desde la salida del compresor hasta el útil neumático; en redes grandes se permite 3%.

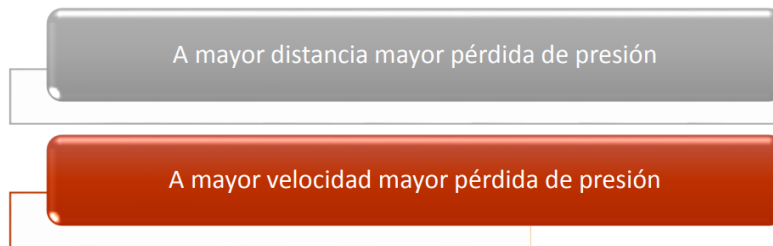


Figura 12. Factores que aumentan caída de presión

Fuente: Bonilla. (2014).

-Regla #2: se debe procurar respetar un límite de velocidad según el tipo de tubería. La siguiente tabla muestra una recomendación de velocidades. (Ver tabla 2)

Tabla 2. Velocidades recomendadas para diferentes tipos de tuberías.

TIPO DE TUBERIA	VELOCIDAD (m/s)
Tubería principal	8
Tubería secundaria	10
Tubería de servicio	15
Tubería de interconexión	20-30

Fuente: Bonilla (2014)

-Regla # 3: las pérdidas por fugas no pueden ser mayores a 5% y en casos extremos, no superar el 10%.

-Regla # 4: se debe considerar siempre el factor de ampliaciones, según Royo (1977), este es de 20%.

2.2.8.3 Cálculo de caudal de diseño (Qd):

Este es un punto importante dentro de la cadena de diseño de una red de aire comprimido, de modo que se deben seguir los siguientes pasos:

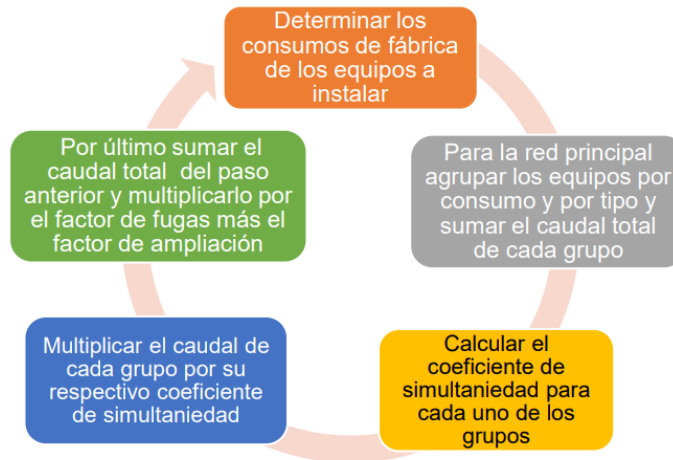


Figura 13. Ciclo para cálculo de caudal de diseño

Fuente: Bonilla. (2014).

Lo anterior aplica para determinar el caudal de la tubería principal por seguir. Con las demás tuberías habría que aplicar el mismo principio, solo que se deben considerar únicamente los equipos que estén conectados a esa tubería.

En el caso de las tuberías de servicio, se debe garantizar que el caudal que llegue a éstas supla la necesidad del equipo instalado.

2.2.8.4 Cálculo de caída de presión:

La caída de presión de un sistema de aire comprimido es uno de los factores que deben de atraer la atención de cualquier ingeniero proyectista en vista de que su efecto provoca desperdicio de energía; por consiguiente, desperdicio económico.

Hay muchas formas en las que se pierde la presión a través de un sistema de aire comprimido; que a su vez son imposibles de eliminar sin embargo existen variables de control que se pueden manejar para minimizar el efecto de ellas.

La fórmula siguiente ilustra el cálculo de la caída de presión:

$$\Delta\rho = \frac{\beta \times (Qd^2) \times 15.2 \times L}{T \times (D^5) \times P}$$

Donde:

$\Delta\rho$: Caída de presión (bar).

β : Índice de resistividad.

Qd: Caudal de diseño (l/min).

L: longitud equivalente (m).

T: temperatura del aire (kelvin).

P: Presión absoluta (bar).

D: diámetro interior de tubería (mm).

El valor del índice de resistividad está tabulado y depende del flujo másico que circulará por la tubería, el flujo está expresado en términos de kg/h: (Ver tabla 3)












Tabla 3. Índice de resistividad

flujo	índice	flujo	índice	flujo	índice
5	2.14	110	1.43	350	1.21
10	2.03	120	1.41	400	1.18
15	1.92	130	1.40	500	1.15
20	1.85	140	1.38	600	1.12
25	1.78	150	1.36	700	1.09
30	1.74	160	1.35	800	1.07
35	1.70	170	1.34	900	1.05
40	1.66	180	1.33	1000	1.03
45	1.64	190	1.32	2000	0.94
50	1.61	200	1.31	3000	0.86
55	1.59	210	1.30	4000	0.84
60	1.56	220	1.29	5000	0.82
65	1.54	230	1.28	6000	0.80
70	1.53	240	1.27	7000	0.78
75	1.51	250	1.26	8000	0.76
80	1.50	260	1.25	9000	0.74
85	1.49	270	1.25	10000	0.73
90	1.48	280	1.24	15000	0.69
95	1.46	290	1.24	20000	0.67
100	1.45	300	1.23	25000	0.64

Fuente: Bonilla. (2014).

Para calcular la longitud equivalente, se deben sumar las longitudes equivalentes de los accesorios a la longitud real. Ello, porque para considerar la caída de presión de los accesorios, estos se transforman en una longitud imaginaria que sirve para determinar su impacto en la caída de presión. Existen tablas para encontrar estas equivalencias. A continuación, se muestra una: (Ver tabla 4)

Tabla 4. Longitud equivalente de accesorios.

Equivalent length in meters											
Component	Inner pipe diameter in mm (d)										
	25	40	50	80	100	125	200	250	250	300	400
Ball valve (full flow) 	0,3 5	0,5 8	0,6 10	1,0 16	1,3 20	1,6 25	1,9 30	2,6 40	3,2 50	3,9 60	5,2 80
Diaphragm valve fully open 	1,5	2,5	3,0	4,5	6	8	10	-	-	-	-
Angle valve fully open 	4	6	7	12	15	18	22	30	36	-	-
Poppet valve 	7,5	12	15	24	30	38	45	60	-	-	-
Flap check valve 	2,0	3,2	4,0	6,4	8,0	10	12	16	20	24	32
Elbow R = 2d 	0,3	0,5	0,6	1,0	1,2	1,5	1,8	2,4	3,0	3,6	4,8
Elbow R = d 	0,4	0,6	0,8	1,3	1,6	2,0	2,4	3,2	4,0	4,8	6,4
90° angle 	1,5	2,4	3,0	4,5	6,0	7,5	9	12	15	18	24
Tee through-flow 	0,3	0,4	1,0	1,6	2,0	2,5	3	4	5	6	8
Tee side-flow 	1,5	2,4	3,0	4,8	6,0	7,5	9	12	15	18	24
Reducing nipple 	0,5	0,7	1,0	2,0	2,5	3,1	3,6	4,8	6,0	7,2	9,6

Fuente: Atlas Copco (2010).

2.2.8.5 Cálculo y selección de tuberías:

Es posible determinar el diámetro interno de la tubería, sin embargo, hay otras técnicas que agilizan el cálculo, para el caso de tuberías de hierro negro es posible el uso de nomogramas. (Ver figura 14)

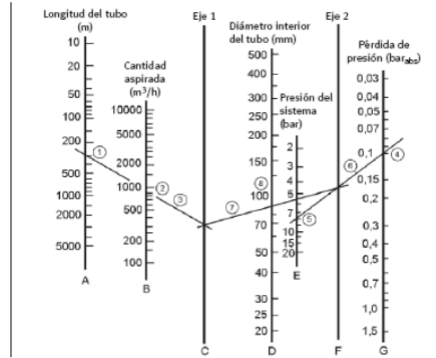


Figura 14. Nomograma de cálculo tuberías

Fuente: Bonilla. (2014).

El uso de este nomograma sigue el siguiente procedimiento:

1. Marque la longitud equivalente de la instalación en la línea A.
2. Marque un punto con el caudal de aire comprimido sobre línea B.
3. Trace una línea hasta cruzar con el eje 1 (línea C).
4. Establezca una caída de presión y marque este punto (sobre línea G).
5. Marque un punto con la presión de operación de su sistema (línea E).
6. Trace una línea que una los puntos marcados en el paso 4 y 5.
7. Trace una línea que una los puntos de intersección entre los ejes 1 y 2.
8. El punto donde se cruce esta línea con la línea de diámetros será el valor del diámetro a seleccionar (línea D). Para tuberías de aluminio también existen tablas de selección. El fabricante (Parker, 2012) da unas tablas para seleccionar el diámetro de las tuberías: (Ver tabla 5)

Tabla 5. Selección de tuberías

Caudal			Longitud										Compresor (Kw)
			164ft	328ft	492ft	984ft	1640ft	2460ft	3280ft	4265ft	5249ft	6561ft	
Nm ³ /h	Nl/min	cfm	50m	100m	150m	300m	500m	750m	1000m	1300m	1600m	2000m	
10	167	6	16,5	16,5	16,5	16,5	16,5	16,5	16,5	25	25	25	1,5 - 7,5
30	500	18	16,5	16,5	16,5	25	25	25	25	25	25	40	
50	833	29	16,5	25	25	25	25	25	40	40	40	40	
70	1167	41	25	25	25	25	40	40	40	40	40	40	7,5 - 30
100	1667	59	25	25	25	40	40	40	40	40	40	63	
150	2500	88	25	40	40	40	40	40	40	63	63	63	
250	4167	147	40	40	40	40	63	63	63	63	63	63	
350	5833	206	40	40	40	63	63	63	63	63	63	76	30 - 75
500	8333	294	40	40	63	63	63	63	63	76	76	76	
750	12500	441	40	63	63	63	63	76	76	76	76	100	
1000	16667	589	63	63	63	63	63	76	76	100	100	100	
1250	20833	736	63	63	63	63	63	100	100	100	100	100	75 - 315
1500	25000	883	63	63	63	76	76	100	100	100	100	100*	
1750	29167	1030	63	63	76	76	76	100	100	100	100*	100*	
2000	33333	1177	63	76	76	76	100	100	100	100*	100*	100*	
2500	41667	1471	63	76	76	76	100	100*	100*	100*	100*	100*	
3000	50000	1766	76	76	76	100	100	100*	100*	100*	100*	100*	
3500	58333	2060	76	76	100	100	100*	100*	100*	100*	100*	100*	> 315
4000	66667	2354	76	100	100	100	100*	100*	100*	100*	100*	100*	
4500	75000	2649	76	100	100	100*	100*	100*	100*	100*	100*	100*	
5000	83333	2943	76	100	100	100*	100*	100*	100*	100*	100*	100*	
5500	91667	3237	100	100	100	100*	100*	100*	100*	100*	100*	100*	
6000	100000	3531	100	100	100*	100*	100*	100*	100*	100*	100*	100*	

* Pérdidas de carga >5 %

Fuente: Bonilla. (2014).

La selección de diámetro se hace a partir de la distancia por recorrer y el caudal por manejar. A partir de estos valores de entrada se escoge el diámetro recomendado por el fabricante. Por ejemplo, en la figura de ilustración, nótese que para un caudal de 250 Nm³/h y una distancia de 300 m, el diámetro recomendado es de 40 mm.

La longitud que se debe usar para proceder a usar estas tablas es la equivalente a la suma de la distancia por recorrer más la suma del total de accesorios presentes dentro de la red.

2.2.9 Ahorro en sistemas de aire comprimido

Un mundo de competencias y de luchas de mercado hace a cualquier industria mejorar su productividad, que podría definirse como la razón de: cantidad de recursos producidos entre el costo de su producción. Lo anterior trae a colación que es necesario disminuir costos del aire comprimido para generar mayor productividad a la planta.

2.2.10 Caída de presión

Anteriormente se vio que es necesario considerar en el diseño la caída de presión; sin embargo, algunas veces las demandas crecen y se van conectando equipos nuevos a

las redes, lo que incide en un aumento en la caída de presión, si dentro del diseño no se consideró una ampliación.

Asimismo, las tuberías de hierro van degradando su calidad conforme transcurren los años, esta pérdida de calidad implica un aumento de rugosidad del material y, por consiguiente, genera un aumento de la caída de presión, también los filtros dañados imprimen efecto en la caída de presión; por lo tanto, debe mantenerlos en buenas condiciones.

2.2.10.1 Medición de caída de presión:

Hay distintos métodos, según Bonilla (2014); sin embargo, el más simple y quizá el más confiable, ya que no involucra errores de cálculos, sino solo los de apreciación y los de precisión de los equipos, es el siguiente: medir la presión del depósito y posteriormente, la presión en el tramo más lejano de la tubería que se desea medir, para encontrar un diferencial de presión.

Con el valor del diferencial de presión se obtiene la pérdida de presión que equivale a ese trayecto de tubería; la importancia de lo anterior es que sirve para comparar la caída de presión recomendada contra la presente.

La caída de presión trae consigo que sea necesario aumentar la presión de operación de los compresores, con la finalidad de elevar la presión de la red para así alimentar la demanda de presión del usuario final.

Comúnmente se dice que el aumento en la presión está estrictamente relacionado con el consumo de energía y esto tiene una razón demostrable, ya que, al aumentarse la presión, se deberá efectuar un mayor trabajo por parte del compresor. Como este trabajo es tomado de la red eléctrica, entonces, será conveniente que el compresor consuma más. Según el Manual de Aire Comprimido (2010), un aumento de 1 bar en la presión se convierte en un incremento de 8% en la energía eléctrica.

2.2.11 Fugas:

Dentro de un sistema presurizado, el control de fugas se vuelve una necesidad en vista de que una fuga provoca disminución en el volumen y, por consiguiente, demanda de aire.

Al ser el aire comprimido incoloro, hay veces en que las fugas ligeras o pequeñas no son visibles ni audibles; por lo tanto, algunas veces se dejan de lado, ya que no se ven ni se escuchan.

2.2.11.1 ¿Cuánto cuesta una fuga?

Existen tablas en donde, según el diámetro del orificio y la presión a la que está la red, se determina el consumo de aire de dicha fuga, ahora bien, ese valor de consumo tiene un costo y es el valor que cuesta la energía, la inversión y el mantenimiento para generar ese caudal de fugas.

La tabla siguiente muestra la forma en que se determina el caudal de fugas, según la presión de operación y el diámetro del orificio. (Ver tabla 6)

Tabla 6. Caudal de fuga según la presión y diámetro del orificio





Tamaño orificio	Litros/seg - ANR($dm^3s/$)				
(mm)	2 bar	4 bar	6 bar	7 bar	8 bar
0.2	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06
0.3	0.04	0.05	0.10	0.11	0.12
0.5	0.11	0.19	0.26	0.30	0.39
1.0	0.45	0.73	1.05	1.20	1.35
1.5	1.02	1.70	2.37	2.69	3.05
2.0	1.81	3.05	4.20	4.80	5.40
3.0	4.00	6.77	9.46	10.81	12.16
4.0	7.27	12.04	16.82	19.16	21.67
5.0	11.35	18.83	26.32	30.00	33.82
6.0	16.34	27.16	37.82	43.32	48.65
8.0	29.16	48.15	67.30	76.90	86.50
10.0	43.32	75.30	105.10	120.10	135.00
15.0	102.10	169.90	236.60	269.90	304.00

Fuente: Bonilla (2014).

Para agujeros totalmente redondos, este factor debe multiplicarse por 0,97, mientras que, para orificios irregulares, multiplicarlo por 0,65.

La figura 7 del fabricante Atlas Copco muestra una estimación de demanda energética con respecto al diámetro del orificio.

Tabla 7. Estimación de gasto de energía según orificio de fuga.

Hole diameter		Output flow at 7 bar working pressure	Power requirement for the compressor
Size	mm	l/s	kW
	1	1.2	0.4
	3	11.1	4.0
	5	31	10.8
	10	124	43

Fuente: Atlas Copco. (2010).

2.2.12 Sistemas de control:

Un sistema de control es el conjunto de elementos (dispositivos de entrada de órdenes, dispositivos de entrada y salida de información y controlador) que están interconectados con el propósito de manipular el comportamiento de una estructura, en este, las variables de salida se comportan según las órdenes dadas por las variables de entrada.

La función de este sistema es la de gestionar o regular la forma en que se comporta otro sistema para así evitar fallas.

El sistema de control de procesos está formado por un conjunto de dispositivos de diverso orden. Pueden ser de tipo eléctrico, neumático, hidráulico, mecánico, entre otros. El tipo o los tipos de dispositivos están determinados, en buena medida, por el objetivo a alcanzar.

Pero un sistema de control no se establece como tal solo por contar con estos dispositivos, sino que debe seguir la lógica de al menos 3 elementos base:

- Una variable a la que se busca controlar
- Un actuador
- Un punto de referencia o set-point

Los tipos de sistemas de control: Se clasifican en:

2.2.12.1 Sistema de control en lazo o bucle abierto: En los sistemas de control la señal de salida no influye sobre la señal de entrada, en dichos sistemas, Estos sistemas se controlan directamente, o por medio de un transductor y un actuador. Los sistemas en bucle abierto tienen el inconveniente de ser muy sensibles a las perturbaciones ya que como se mencionó anteriormente, no tienen la capacidad de modificar la variable de entrada en función de la salida. (Ver figura 15)

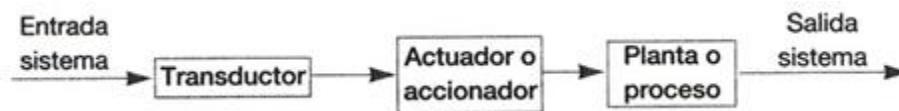


Figura 15. Diagrama de bloques de lazo abierto

Fuente: cienciasfera (consultado 2022)

- **2.2.12.2 Sistema de control en lazo o bucle cerrado:** En ellos, la señal de salida influye en la entrada. Esto se consigue mediante un proceso de realimentación (feedback). La realimentación es la propiedad de un sistema en lazo cerrado por la cual la salida (o cualquier otra variable controlada) es comparada con la entrada del sistema, de forma que el proceso de control depende de ambas. En estos sistemas un transductor mide en cada instante el valor de la señal de salida y proporciona un valor proporcional a dicha señal. Este valor relacionado con la señal de salida, se realimenta al sistema, de forma que ésta influye directamente sobre el proceso de control. En él, la salida es realimentada hacia la entrada; ambas se comparan, y la diferencia que existe entre la entrada, que es la señal de referencia o consigna (señal de mando), y el valor de la salida (señal realimentada) es la señal de error.

Si la señal de error fuese nula, entonces la salida tendría exactamente el valor previsto.

De no ser nula, ésta ataca al controlador o regulador, donde es convenientemente amplificada si fuera necesario, convirtiéndose en la señal activa, capaz de activar al actuador, para que la salida alcance el valor previsto. La señal de error, o diferencia entre los valores de la entrada y de la salida, actúa sobre los elementos de control tratando de reducir el error a cero y llevar la salida a su valor correcto. Se intenta que el sistema siga siempre a la señal de consigna.

El controlador es el componente que determina el comportamiento sistema, por lo que se debe diseñar con gran precisión. Es el cerebro del bucle de control.

Mientras que la variable controlada tenga el valor previsto, el regulador no actuará sobre el actuador, en el momento que la variable de salida se aleja del prefijado, surge la señal de error, que ataca al regulador modificando su señal, ordenando al actuador que actúe sobre la planta o proceso, en el sentido de anular la señal de error, un termostato realizaría esta función.

Los sistemas en lazo cerrado son prácticamente insensibles a las perturbaciones, ya que cualquier modificación de las condiciones del sistema que afecten a la salida, serán inmediatamente rectificadas por efecto de la realimentación, con lo que las perturbaciones se compensan, y la salida resulta independiente de éstas.

El diagrama de bloques correspondiente a un sistema de control en lazo cerrado es: (Ver figura 16)



Figura 16. Diagrama de bloques de lazo cerrado
Fuente: cienciasfera (consultado 2022)

2.3 Bases legales

En el desarrollo de este trabajo de grado se utilizó como basamento legal las normas COVENIN (Comisión Venezolana de Normas Industriales), a continuación, se detallan las normas que se consideran relevantes para dicha investigación.

2.3.1 COVENIN 1706:1999

Esta norma contempla los colores y algunas características físicas que se deben utilizar para la identificación de cilindros o bombonas que contienen gases y líquidos a presión, tanto para usos médicos como industriales. (Ver cuadro 1)

2.3.2 COVENIN 253:1999

Esta norma establece la codificación que deben tener las tuberías con el fin de identificar el fluido que circula por ellas. (Ver cuadro 2)

Cuadro 1. Colores básicos para cilindros que contienen gases o líquidos

NOMBRE DEL GAS	SÍMBOLO Ó FORMULA QUÍMICA	MUESTRA DEL COLOR	COLOR BÁSICO DEL CILINDRO	COLOR DELROMBO EN LA ETIQUETA
HIDRÓGENO	H ₂		ROJO	ROJO
ACETILENO	C ₂ H ₂		ROJO	ROJO
OXÍGENO	O ₂		VERDE	VERDE
NITRÓGENO	N ₂		GRIS	GRIS
ARGÓN	Ar		NEGRO	GRIS
BIÓXIDO DE CARBONO	CO ₂		PLATEADO	GRIS
OXIDO NITROSO	N ₂ O		AZUL	VERDE
FREÓN			BLANCO	GRIS
AMONIACO	NH ₃		ANARANJADO	ANARANJADO
CLORO	Cl ₂		AMARILLO	ANARANJADO
HELIO	He		MARRÓN	GRIS
AIRE			BLANCO	VERDE

Fuente: Norma Venezolana COVENIN 1706:1999.

Cuadro 2. Colores básicos para la identificación de los fluidos

FLUIDO	COLOR BÁSICO DE IDENTIFICACIÓN	MUESTRA DEL COLOR
AGUA	VERDE	
OTROS VAPORES	GRIS PLATEADO	
ACEITES VEGETALES, ANIMALES Y MINERALES LÍQUIDOS COMBUSTIBLES INFLAMABLES	MARRÓN	
GASES INERTES E INFLAMABLES	AMARILLO	
ÁCIDO	ANARANJADO	
ALCALIS	VIOLETA	
AIRE	AZUL	
RESIDUOS EN FERMENTACIÓN Y AGUAS NEGRAS	NEGRO	
PRODUCTOS FERMENTABLES	GRIS OSCURO	
VACÍO	GRIS CLARO	
AGUA PARA EL COMBATE DE INCENDIOS	ROJO	
FLUIDO ELÉCTRICO	NEGRO	

Fuente: Norma Venezolana COVENIN 253:1999.

COVENIN 541:2002

Esta norma establece los parámetros de diseño y control de los conductores eléctricos, de manera tal que conduzcan energía eléctrica en la forma más eficiente, asegurando la calidad del servicio, salvaguardando la seguridad de las personas y preservando la seguridad de las personas y preservando el medio ambiente donde se encuentren instalados. Esta norma aplica a materiales, construcciones y pruebas de alambres y cables sin pantalla hasta 2000 V, con aislamiento termoplástico, de polietileno reticulado y de goma reticulada, los cuales son usados para la transmisión y distribución de energía eléctrica en condiciones normales de instalación y servicio, ya sea interior, exterior, área, subterránea o submarina y cables de control.

COVENIN 2811:1998

Esta norma establece los requisitos para la elaboración técnica relativa a cada tablero eléctrico, o a cada lote de tableros fabricados en serie, comenzando desde su diseño hasta la entrega final, incluyendo la instalación y puesta en servicio en la obra.

2.4 Definición de Términos

CFM: Pies cúbicos por minuto, es una unidad de medida anglosajona, que mide el caudal o flujo de un gas o líquido, indicando volumen en pies cúbicos, que pasa por una sección determinada, en la unidad de tiempo.

Compresor de back up: se refiere a tener un compresor listo para entrar a trabajar en caso de que alguno de los que estén en funcionamiento falle.

Control secuencial: Permite implementar circuitos para el control y automatización de procesos, mediante el empleo de dispositivos electromagnéticos (relevadores, temporizadores y contadores), circuitos digitales (flip-flops RS) y controladores lógicos programables (PLC). Estos elementos de control son ampliamente empleados en la industria, por lo que se requiere interpretar su funcionamiento y manipulación.

KOP: Es el primer lenguaje empleado para programar autómatas y específicamente diseñado para facilitar la tarea de leer y comprender programas de control de autómatas a los ingenieros eléctricos acostumbrados, hasta entonces, a implementar automatismos empleando tecnología eléctrica.

Stand alone: Sistema programado para trabajar solo, sin asociarse con otro dispositivo.

S3: Modelo de controlador de los compresores Ingersoll Rand que se encuentran en la empresa Acumuladores Duncan C.A.

E/S: Conecta dispositivos de entrada y salida (E/S) al sistema de bus de una unidad central de procesamiento (CPU). Generalmente se comunica con la CPU y con la memoria del sistema a través del bus del sistema y puede controlar muchos dispositivos.

Variable de proceso: condición física o química que es de interés medir y controlar, ya que puede alterar la producción o manufactura.

2.5 Cuadro técnico-metodológico.

Cuadro de Operacionalización de Variable

Cuadro 3. Colores básicos para la identificación de los fluidos

OBJETIVO ESPECIFICO	VARIABLE	DEFINICION OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ITEM	TECNICA	INSTRUMENTO
Proponer la automatización del sistema de operación de la sala de compresores en	Condición de operación del ciclo de arranque de compresores	Requerimientos de un sistema de control y visualización del ciclo de arranque de los compresores de la empresa	Funcionamiento del control de arranque de los compresores	Descripción, conocimientos y elementos	4, 5, 6, 7, 9, 10, 11, 14	Observación directa	Lista de Cotejo

la empresa ACUMULADORES DUNCAN, C.A. Ubicada en Cagua, Estado Aragua		ACUMULADORES DUNCAN, C.A. El control avanzado precisa de un modelo del proceso con la suficiente información para predecir las consecuencias de cambios en las condiciones de operación."(Creus,2005 p.576)	Registro y funcionamiento de las variables de control	Operabilidad y modo de operación	3, 8, 13	Observa- ción directa	Lista de Cotejo
			Funcionamiento del ciclo de parada de compresores	Manual – Automático, período y formato	1,2,12	Observa- ción directa	Lista de Cotejo

Fuente: Mendoza (2022)

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

El marco metodológico de la investigación se puede definir como la explicación de los mecanismos que se utilizan para analizar la problemática que se presente en una investigación. Arias, F. (2012), según el marco metodológico expresa que: “La metodología del proyecto incluye el tipo o tipos de investigación, las técnicas y los instrumentos que serán utilizados para llevar a cabo la indagación. Es el “cómo” se realizará el estudio para responder al problema planteado.” (pág. 110).

3.1 Tipo de investigación

“El Proyecto Factible consiste en la investigación, elaboración y desarrollo de una propuesta de un modelo operativo viable para solucionar problemas, requerimientos o necesidades de organizaciones o grupos sociales” (Manual de la UPEL ,2016, p.21)

La naturaleza propia del proyecto, hace que la investigación entre en la clasificación de proyecto factible, puesto que se desarrollará un plan de trabajo para el diseño de un sistema de control que permita el funcionamiento y alternancia de compresores y a su vez el monitoreo de los mismos a través de un HMI para de esta manera, garantizar el suministro de aire a todas las áreas de la planta sin la necesidad de que un operador ejecute las ordenes permitiendo así que estos controles sean más eficientes y pueden ser controlados.

3.2. Diseño de la investigación

El diseño de la investigación es el conjunto de directrices que toma el investigador con el fin de observar, analizar y plantear una solución de ser posible a la problemática objeto de la investigación. Según Palella y Martins (2012) definen como investigación de campo a:

Las investigaciones de campo están enmarcadas en dos tipos de enfoques, cualitativo, cuantitativo o mixto, siendo esta ultima la que corresponde a este trabajo de investigación.

Según Hernández Sampieri R.; Fernández Collado, C.; y Baptista Lucio, P. (1991) “la meta de la investigación mixta no es reemplazar la investigación cuantitativa ni a la cualitativa, sino utilizar las fortalezas de ambos tipos de indagación combinándolas y

tratando de minimizar sus debilidades potenciales”. Concluyendo que la investigación que se está realizando es mixta ya que incluye una investigación descriptiva y de campo. Se recolectará información directamente desde la empresa ACUMULADORES DUNCAN C.A, con el fin de poder diagnosticar los puntos críticos del suministro de aire comprimido, así como también se recopilará información de autores y trabajos de grado previos, relacionados con la problemática.

3.3. Nivel de la investigación

Según Fidias Arias, (2006). La investigación descriptiva consiste en la caracterización de un hecho, fenómeno, individuo o grupo, con el fin de establecer su estructura o comportamiento. Los resultados de este tipo de investigación se ubican en un nivel intermedio en cuanto a la profundidad se refiere (p.81).

De acuerdo al problema planteado referido a la propuesta del sistema de operación de la sala de compresores, utilizando un software que permita la automatización en la empresa ACUMULADORES DUNCAN, C.A. Ubicada en Cagua, estado Aragua, y en función de su objetivo, se incorpora el nivel de dicho estudio denominado Investigación descriptiva.

“La Investigación de campo consiste en la recolección de datos directamente de la realidad donde ocurren los hechos, sin manipular o controlar las variables. Estudia los fenómenos sociales en su ambiente natural. El investigador no manipula variables debido a que esto hace perder el ambiente de naturalidad en el cual se manifiesta...”(pag.88).

s

3.4 Población y muestra.

Hurtado. J. (2008), define la población como un: “conjunto de elementos que poseen la característica o evento a estudiar y que se enmarcan dentro de los criterios de inclusión” (p.141). Igualmente, acota a la población como: “conjunto finito o infinito de personas, casos o elementos, que presentan características comunes” (p. 137).

Se puede decir por lo antes expuesto que una población es un conjunto de personas o elementos que poseen una característica en común que los une y convierte en objetos de estudio necesarios para una investigación. En este caso está definida por el sistema de compresores de aire de la empresa ACUMULADORES DUNCAN, C.A., como población y muestra para la investigación.

3.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Los instrumentos de investigación son parte fundamental de la misma ya que son los medios por los cuales el investigador puede recolectar datos sobre la problemática en la que está trabajando, teniendo esto en cuenta Sabino (1992) lo define como:

“Un instrumento de recolección de datos es en principio cualquier recurso de que pueda valerse el investigador para acercarse a los fenómenos y extraer de ellos información. De este modo el instrumento sintetiza en sí toda la labor previa de la investigación, resume los aportes del marco teórico al seleccionar datos que corresponden a los indicadores y, por lo tanto a las variables o conceptos utilizados” (p.149, 150).

Y por técnica se va a anotar la definición que nos da el diccionario de metodología anteriormente citado, el cual establece que las técnicas de investigación son: “Conjunto de mecanismos, medios y sistemas de dirigir, recolectar, conservar, reelaborar y transmitir los datos sobre estos conceptos” (p.150).

3.5.1. Técnicas empleadas

•Revisión documental

La revisión documental es hacer una recopilación de información sobre textos e investigaciones generados por otros investigadores que tienen relación directa o indirecta con la problemática que es razón de estudio. Hurtado (2010) define este concepto como:

“... es una técnica en la cual se recurre a información escrita, ya sea bajo la toma de datos que pueden haber sido producto de mediciones hechas por otros como texto en sí mismo constituyen los eventos de estudio” (p.427).

•Observación directa

La observación directa es el proceso en el cual el investigador recolecta datos directamente desde el medio ambiente del fenómeno a estudiar, por otro lado, Hurtado (2010) la define como: "... un proceso de atención, recopilación, selección y registro de información para el cual el investigador se apoya en sus sentidos” (p.459).

En primer lugar, se utilizará como técnica la observación directa, del tipo estructurada, mediante una lista de cotejo. Tobón (2014a), define las listas de cotejo como:

Instrumentos de evaluación de competencias que permiten determinar la presencia o ausencia de una serie de elementos de una evidencia (indicadores). Los niveles de desempeño se tienen en cuenta en la

ponderación o puntuación de los indicadores. Mientras mayor sea el nivel de desempeño, el indicador tiene más puntos (p. 172).

En la antes mencionada se evaluará el proceso actual, para la realización de esta técnica nos dirigimos a la empresa ACUMULADORES DUNCAN y por medio de la observación propia del investigador se realizará el estudio del problema que involucra el proceso actual en el sistema de aire comprimido en la sala de compresores. A continuación, se muestra la tabla con el contenido de la lista de cotejo, la misma deberá ser respondida con una "X" en la casilla "SI" o "NO" según sea el caso.

Cuadro 4. Lista de cotejo.

ITEM	CONFIRMACION	SI	NO
1	El sistema de aire comprimido funciona de manera automática.		
2	El lazo de presión opera en modo Manual.		
3	El sistema tiene algún instrumento de monitoreo de presión en las distintas áreas de la planta.		
4	Existen caídas de presión que afecten el proceso productivo.		
5	Existen fugas en las tuberías de aire comprimido.		
6	El personal de mantenimiento está al tanto de las fugas existentes.		
7	La demanda de aire comprimido en planta es constante.		
8	El equipo posee interface hombre-maquina (HMI).		
9	En el área más lejana de la planta, hay fallas a causa del suministro de aire comprimido.		
10	El sistema detecta la falla en las áreas lejanas de la planta que existen a causa de la caída de presión.		
11	Es necesario adicionar un interruptor o sensor de presión en la línea más lejana		
12	Cuando baja la presión en los pulmones de alimentación, un operador debe proceder a encender manualmente otro compresor.		
13	Se debe realizar migración tecnológica hacia un PLC.		
14	La implementación de nuevas tecnologías para control y visualización de la sala de compresores incide en la calidad y la mejora del proceso productivo.		

Fuente: Mendoza (2022)

3.6. Técnicas de análisis de resultados.

Sierra (1999), indica que la tabulación es una técnica de procesamiento de la información recolectada, la cual permite al investigador tabular, codificar y analizar los datos relativos a una variable, indicadores o ítems.

Los datos deben presentarse en cuadros gráficos o relaciones de datos para que, tomándolos como base, se pueda realizar un análisis, que tiene como punto de partida la separación de todos los elementos que se consideran importantes, y servirán para responder a los objetivos planteados en la investigación.

3.7. Fases metodológicas.

Fase I: Diagnóstico de la situación actual de operación del conjunto de compresores en la empresa Acumuladores Duncan C.A. Ubicada en Cagua Estado Aragua.

En la primera fase, se realizará un estudio de cómo se encuentra la sala de compresores y los equipos que están en la misma, así como también se hará una profunda y asertiva revisión bibliográfica con el fin de entender teóricamente como es el correcto funcionamiento de los compresores y de la distribución de aire comprimido en un proceso industrial.

Fase II: Identificación de los puntos críticos en la operación de la sala de compresores en la empresa Acumuladores Duncan C.A. Ubicada en Cagua Estado Aragua.

El objetivo de esta fase, es la de poder detallar cuáles son las causantes de las fallas en el suministro del aire comprimido, cuáles son las áreas que se requieren mejorar para lograr un óptimo desempeño de los equipos que se encuentran en la sala de compresores, para finalmente evitar el desgaste prematuro y futuras averías de los mismos.

Fase III: Diseño de un sistema automático de operación y alternancia e integración de los compresores en la empresa Acumuladores Duncan C.A. ubicada en Cagua Estado Aragua.

Una vez conocido el funcionamiento del sistema y sus puntos críticos se procederá a realizar el análisis de funcionamiento y se determinarán que software es el indicado para analizar las variables que afectan el proceso y sea capaz de cumplir con los requerimientos de la empresa.

Fase IV: Diseño de una interface hombre maquina (HMI) que muestre la operación de alternancia y puntos críticos de funcionamiento de la sala de compresores de la empresa Acumuladores Duncan C.A. ubicada en Cagua Estado Aragua.

Para poder realizar un sistema de control amigable con los operadores y el personal autorizado, se instalará un HMI que permita visualizar el estado de los compresores, cuáles están en funcionamiento y cuáles no, mostrar la presión con la que está trabajando la planta y también permitir controlar de manera manual todos los compresores que se encuentran en el área.

Fase V: Implementación de un sistema de simulación para mostrar de manera virtual, el funcionamiento del sistema antes de su puesta en marcha.

En esta fase se busca demostrar que el diseño de la propuesta de automatización de la sala de compresores cumple con el objetivo de controlar, alternar e integrar el funcionamiento de la misma. Cumpliendo de esta manera, con los objetivos mencionados anteriormente.

Fase VI: Realización de un estudio de factibilidad, operativa, técnica y económica para la automatización del sistema de operación de la sala de compresores de la empresa Acumuladores Duncan C.A. ubicada en Cagua Estado Aragua.

Se evaluará la factibilidad técnica sobre la automatización e instrumentos a utilizar para que sea posible su futuro desarrollo, de igual forma se evaluará la mano de obra necesaria para implementar la propuesta y el costo que esta significaría, también se estudiará la factibilidad operativa y económica, es decir, se verá si estas modificaciones son aplicables y beneficiosas para la empresa Acumuladores Duncan C.A

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1. Fase I: Diagnostico de la situación actual de operación del conjunto de compresores en la empresa Acumuladores Duncan C.A. Ubicada en Cagua Estado Aragua.

4.1.1 Observación directa.

En la empresa ACUMULADORES DUNCAN C.A. se diagnosticó el proceso actual en el sistema de operación de la sala de compresores por medio de la observación propia del investigador. El sistema que compone la sala de compresores se muestra en la figura 18, en el plano de distribución de elementos. (Ver figura 18)

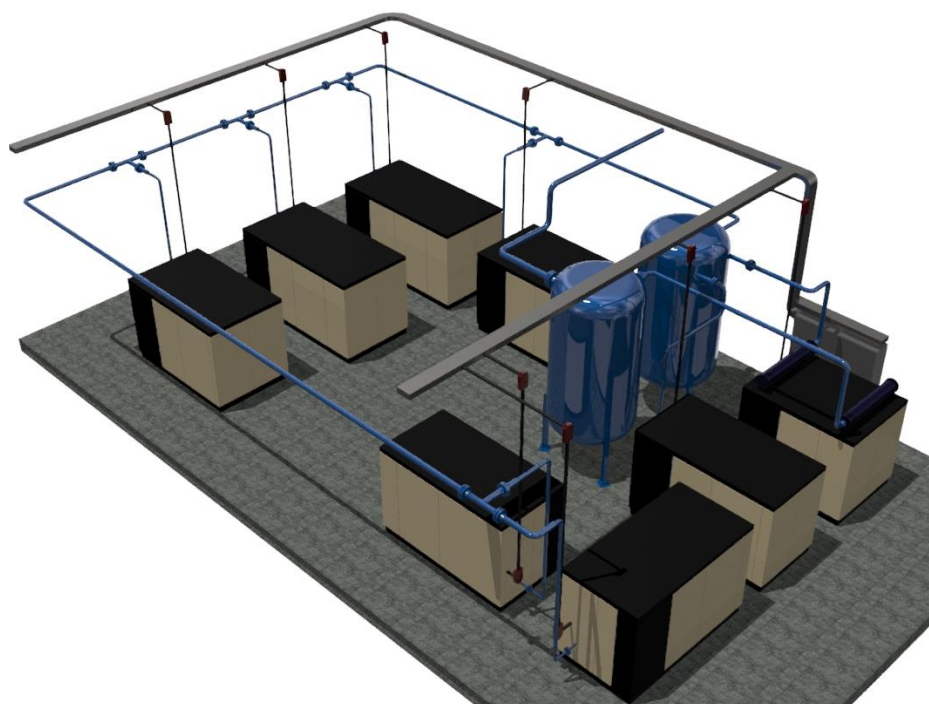


Figura 18: plano de distribución de elementos que componen la sala de compresores

Fuente: Mendoza (2022)

La sala de compresores de la empresa Acumuladores Duncan cuenta, con 7 compresores de tornillo de la marca Ingersoll Rand cuyas características se muestran en la figura 19 (Ver figura 19), también se encuentra un secador del mismo fabricante (Ingersoll Rand) modelo NVC 3250 A 400, dos tanques llamados pulmones cuya función es la de almacenar el aire comprimido proveniente de los compresores y del secador.

Los compresores trabajan en un rango de 90 a 100 psi lo que es aproximadamente 7 bar de presión, estos valores son ingresados en el controlador del compresor, el secador es del tipo refrigerante y es el encargado de eliminar el 90% de la humedad que contiene el aire para de esta manera suministrar aire comprimido apto para no deteriorar las tuberías y los equipos neumáticos en planta. El funcionamiento de la sala de compresores es considerado semiautomático, ya que se deben encender, integrar o sacar de línea los compresores, y dejar uno de respaldo en caso de que alguno falle, a de más de verificar si la cantidad de compresores que están en funcionamiento, son suficiente para cubrir con la demanda de aire comprimido del área de producción, de lo contrario descargarlo para evitar el desgaste innecesario, todo esto de manera manual, es decir, que se necesita la ayuda de un operador para lo antes descrito. De este modo se ha venido laborando.

4.1.2 Revisión documental del funcionamiento del sistema de operaciones de la sala de compresores.

4.1.2.1 Sala de compresores:

La sala de compresores es el centro principal de producción de aire comprimido desde donde se envía, a toda la fábrica, presión de aire para accionar los equipos y elementos de la misma.

Para su ubicación se elige un lugar cerrado, pero bien ventilado y techado para tomar aire lo más frío posible. Esto facilita la decantación de impurezas con lo que se evita que, al menos una parte, se introduzcan en la red de tuberías; además disipar de mejor forma el calor generado por el compresor, de tal manera que no se produzca un incremento de temperatura ambiente excesivo y de igual forma se protegen los equipos de los daños que puedan ocasionarse por estar a la intemperie.

La central estará compuesta por los elementos siguientes:

- Compresor
- Depósito acumulador (tanque o pulmón)
- Secador frigorífico
- Filtro de aire

4.1.2.2 Compresores

La empresa Duncan de Venezuela dentro de su proceso productivo, requiere del uso de la energía neumática por tal motivo se cuenta con la especificación de siete compresores que son del tipo desplazamiento positivo, donde el aire se confina en un volumen interior de la máquina que posteriormente se reduce de dimensión por el desplazamiento de alguna de sus paredes, con el consiguiente aumento de la presión del aire retenido en su interior. Este tipo de compresores ofrecen caudales de aire no demasiado altos, pero permiten obtener relaciones de presión más elevados, la empresa cuenta con 7 compresores de tornillo, de la marca compresor Ingersoll Rand en los modelos R90IU-A125 y R90I-A125.

Dichos compresores tienen un controlador con 3 entradas analógicas, 8 entradas digitales, 6 salidas a relé, 1 salida analógica y dos puertos de comunicación serial 485. el controlador tiene una entrada de 24 V CA mientras que la fuente de alimentación interna es una unidad de 24 V CC que debe soportar una pérdida de alimentación de 40 ms antes de restablecerse. el s3 controla todos los aspectos del funcionamiento de la máquina, incluidos el arranque, la parada, la carga y la descarga, las paradas de seguridad y la interfaz de usuario, así como la conectividad remota del compresor con otros dispositivos.



Figura 19: compresor R90IU-A125

Fuente: Mendoza (2022)

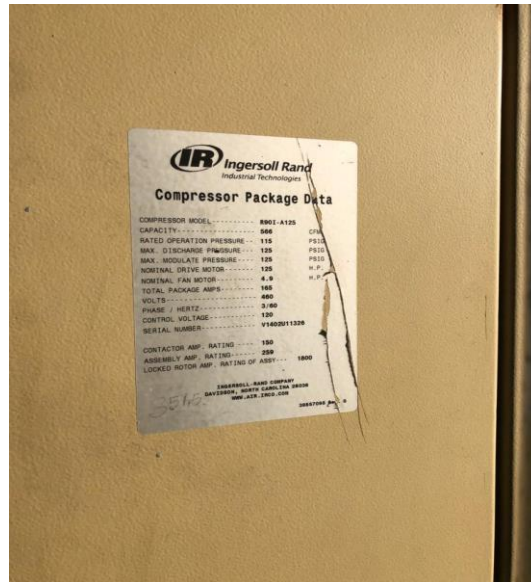


Figura 20: compresor R90I-A125

Fuente: Mendoza (2022)

4.1.2.3 Depósito acumulador (tanque o pulmón) y filtro de aire.

En todo sistema de aire comprimido es habitual la colocación de un depósito de acumulación de aire que alimente a las unidades de consumo. En una instalación con un compresor, en la cual el depósito de acumulación funciona como un depósito pulmón, que permita reducir el número de arranques del compresor para hacer frente a la demanda de aire comprimido cada vez que se produzca. Los pulmones en existencia en la empresa Acumuladores Duncan C.A. Son ambos de una capacidad de 16 metros cúbicos de almacenamiento cada uno, tienen un filtro de carbón activo, el cual es el encargado de evitar el paso de virutas, partículas de polvo, aceite y demás elementos que puedan afectar la calidad del aire, poseen dos manómetros de presión industriales de acero inoxidable de 0 a 160 PSI, cada uno ubicado en un tanque y una válvula solenoide temporizada que purga el condensado del pulmón (Ver figura 21)



Figura 21: Depósito de acumulación vertical

Fuente: Rodríguez (2022)

4.1.2.4 Secado del aire comprimido.

El contenido de humedad del aire o de un gas comprimido se expresa normalmente por su punto de rocío, PR, en °C, es decir, es la temperatura a que tendría que enfriarse el aire para que el vapor de agua contenido en él condense.

Existen varias tipologías de secadores, cada una con una complejidad y costo de instalación distinta. La variable que va a condicionar el coste y complejidad del secador necesario va a ser el punto de rocío a presión que tenga el aire a tratar. A menor punto de rocío mayor complejidad del secador. En la empresa Acumuladores Duncan C.A cuentan con un secador refrigerador de la Ingersoll Rand modelo NVC 3250 A 400, que disminuye en alto grado el punto de rocío.

4.2 Fase II: Identificación de los puntos críticos en la operación de la sala de compresores en la empresa Acumuladores Duncan C.A. Ubicada en Cagua Estado Aragua

Para determinar los puntos críticos del sistema, primero se realizó una lista de cotejo para determinar las condiciones del mismo. Para posteriormente llevar a cabo un

análisis de procesos del sistema de operaciones de la sala de compresores de la empresa acumuladores Duncan C.A. realizando una estructura desglosada de trabajo.

-Aplicación del instrumento, lista de cotejo

Las x fueron agregadas en cada ítem, según la observación realizada por el investigador.

Cuadro 4. Lista de cotejo.

ITEM	CONFIRMACION	SI	NO
	El sistema de aire comprimido funciona de manera automática.		X
	El lazo de presión opera en modo Manual.	X	
	El sistema tiene algún instrumento de monitoreo de presión en las distintas áreas de la planta.		X
	Existen caídas de presión que afecten el proceso productivo.	X	
	Existen fugas en las tuberías de aire comprimido.	X	
	El personal de mantenimiento está al tanto de las fugas existentes.	X	
	La demanda de aire comprimido en planta es constante.		X
	El equipo posee interface hombre-maquina (HMI).		X
	En el área más lejana de la planta, hay fallas a causa del suministro de aire comprimido.	X	
0	El sistema detecta la falla en las áreas lejanas de la planta que existen a causa de la caída de presión.		X
	Es necesario adicionar un	X	

1	interruptor o sensor de presión en la línea más lejana		
2	Cuando baja la presión en los pulmones de alimentación, un operador debe proceder a encender manualmente otro compresor.	X	
3	Se debe realizar migración tecnológica hacia un PLC.	X	
4	La implementación de nuevas tecnologías para control y visualización de la sala de compresores incide en la calidad y la mejora del proceso productivo.	X	

Fuente: Mendoza (2022).

-Estructura desglosada de trabajo.

A continuación, se mostrará la lista de tareas que se ejecutan en el sistema de operaciones de aire comprimido.

1.-Encendido del compresor

1.1.- Verificar que no exista ninguna alerta de falla en el equipo

1.2.- Abrir la línea de aire del compresor que se dirige al pulmón 1

2.-Abrir las llaves de paso de pulmón 1

3.-Encender el secador

3.1.- Verificar que no hay ninguna alerta de falla

3.2.-Abrir la línea de aire que viene del pulmón 1

3.3.-Abrir la línea de aire que sale del secador hacia el pulmón 2

5.- Establecer el rango de trabajo del compresor.

6.- Poner en marcha el compresor que está dentro de línea

7.- Verificar si la presión suministrada por el compresor satisface la demanda

7.1.-De no satisfacerse la demanda de la planta con el compresor en funcionamiento se debe repetir la tarea 1, 1.1 y 1.2 hasta lograr tener una presión adecuada para cumplir con las demandas de la planta

8.-Se debe dejar encendido y fuera de línea o descargado un compresor, que tenga la función de suplantar a alguno que este trabajando a la hora de que el mismo falle.

9.-Llevar registro de que ningún compresor supere las 150 horas de trabajo seguidas, de ser así debe suplirse por otro.

Una vez realizada la lista de cotejo y descritas las tareas que se realizan en la sala de compresores se puede evidenciar que hay aspectos de vital importancia y que si los mismos presentan alguna falla, se vería afectado en gran medida el proceso productivo, las tareas descritas anteriormente son realizadas en su totalidad de manera manual a excepción de la tarea 5 lo que significa que cualquier error atribuido a la manipulación humana tendrían como consecuencia pérdidas significativas para la empresa.

De acuerdo con lo anterior, podemos identificar los siguientes puntos críticos,

1.- Encendido del compresor y verificar el correcto funcionamiento del compresor.:

Se considera un punto crítico ya que la principal tarea que se debe realizar para iniciar el funcionamiento de las maquinas en planta y por ende la producción, es encender la unidad compresora, para posteriormente colocarla en carga, pero es de vital importancia que antes de llevar a cabo lo antes expuesto, verificar el correcto funcionamiento del compresor, viendo el estado del nivel de aceite, de los filtros, y no pasar por alto ningún anuncio anuncio de alerta antes de poner en marcha el compresor.

7.- Verificar si la presión suministrada por el compresor satisface la demanda, (7.1) de no satisfacerse la demanda de la planta con el compresor en funcionamiento se debe repetir la tarea 1, 1.1 y 1.2 hasta lograr tener una presión adecuada para cumplir con las demandas de la planta.

Esta es uno de los principales puntos críticos del sistema, porque no existe ningún medidor en planta, salvo los manómetros de los pulmones, que indiquen los niveles de presión en las áreas que presentan mayores fallos por el suministro de aire, lo que significa que si existe una caída de presión en alguna área y que no es capaz de ser medida por el manómetro que se encuentra en el pulmón 2 de la sala de compresores, se debe esperar a que algún supervisor o personal del área afectada se de cuenta de la

deficiencia en el área y lo reporte para que se proceda a enviar al supervisor de servicios generales a realizar de manera manual las tareas 1, 1,1 y 1,2 hasta satisfacer la demanda de presión requerida.

8.-Se debe dejar encendido y fuera de línea o descargado un compresor, que tenga la función de suplantar a alguno que este trabajando a la hora de que el mismo falle.

Este punto crítico es un requerimiento de la gerencia del departamento de mantenimiento mecánico ya que disminuye el tiempo de parada de la planta a causa de la salida de operaciones de un compresor a causa de una falla o mantenimiento.

9.-Llevar registro de que ningún compresor supere las 150 horas de trabajo seguidas, de ser así debe suplirse por otro.

Este punto crítico al igual que el anterior, es un requerimiento de la gerencia del departamento de mantenimiento mecánico, ya que al intercalar el funcionamiento de los compresores se les prolonga la vida útil a los mismos, evitando el desgaste excesivo de una unidad compresora sobre otra.

Los puntos críticos permiten evidenciar la necesidad de automatizar el funcionamiento de la sala de compresores de manera que el suministro de energía neumática cumpla las exigencias de proceso.

4.3 Fase III: Diseño de un sistema automático de operación y alternancia e integración de los compresores en la empresa Acumuladores Duncan C.A. ubicada en Cagua Estado Aragua.

Conociendo el problema del proceso en el sistema de operaciones de la sala de compresores de la empresa ACUMULADORES DUNCAN C.A. explicado en la fase II, se procederá a seleccionar los componentes necesarios para poder realizar el diseño automatizado. Para esta elección se han tenido en cuenta el cumplimiento de las especificaciones realizadas por la empresa, las estudiadas anteriormente, además de otros factores como los requerimientos del tamaño y el precio del componente. En consecuencia, a esto se seleccionaron los siguientes componentes.

4.3.1 Controlador Lógico Programable CompactLogix 1769-L35ER

Este PLC, fue un requerimiento de la empresa, ya que todos los controladores lógicos programables que se encuentran en planta son del fabricante Rockwell Automation, además de que ya contaban con dicho equipo en su almacén y para disminuir

costos en la propuesta planteada, se llegó al acuerdo de utilizar el equipo antes mencionado.

Los controladores CompactLogix 1769-L35E ofrecen control escalable y económico para aplicaciones de equipo autónomo pequeño hasta tablas de indexado de alto rendimiento, equipo modular del proceso, permiten ahorrar costos con estos controladores:

- Compatibilidad con movimiento integrado en Ethernet/IP
- Compatibilidad para topologías de red en anillo a nivel de dispositivos
- Almacenamiento de energía incorporado que elimina la necesidad de baterías de litio
- Acepta la reutilización de las E/S 1769 existentes

Dichos controladores, satisface la creciente necesidad de un controlador de mayor rendimiento en un formato compacto y económico Como parte del sistema de Arquitectura Integrada, los controladores CompactLogix 1769 L35ER utilizan el mismo software de programación, protocolo de red y capacidades de información que todos los controladores Logix, proporcionando un entorno homogéneo de desarrollo para todas las disciplinas de control.



Figura 22: Controlador Compactlogix 1769 L35E

Fuente:<https://www.rockwellautomation.com/en-us/products/details.1769-L35E.html>

4.3.2 Software Studio 5000

El Software Studio 5000 de Rockwell Automation es una herramienta muy amigable utilizada para la configuración y programación de los controladores Logix (ControlLogix, CompactLogix, GuardLogix, SoftLogix y DriveLogix).

El Software RsLogix 5000 se llama así hasta la versión 20. A partir de la versión 21 toma el nombre de Studio 5000; a partir de la versión 28 se puede utilizar la aplicación para configurar y programar tanto los controladores Logix así como también los Panelview 5000 (Con el Studio 5000 viene incluido tanto el Logix Designer como el View Designer utilizado para la configuración y programación de los Panelview 5000). Junto al RsLogix 5000/ Studio 5000 viene incluido el RsLinx Lite que permite cargar y descargar los programas del computador a los controladores Logix (Controllogix, Compactlogix, Softlogix y Drivelogix).

El Studio 5000 tiene varias opciones de acuerdo a la necesidad del usuario, siendo las más conocidas: Studio 5000 Standard Edition la cual solo permite la programación en Diagrama de Escalera; Full Edition permite la programación en los 4 lenguajes de programación (Diagrama de Escalera, Bloque de Funciones, Diagrama Secuencial y Texto estructurado), Professional Edition que además de traer los 4 lenguajes de programación, trae el Simulador (Studio 5000 Emulate) y los RsNetworx para la configuración de las Redes Devicenet, Controlnet y Ethernet.

4.3.4 Crear un proyecto en STUDIO 5000.

Antes de realizar el proyecto es importante realizar un diagrama de bloques el cual nos indica cómo crear una ruta para realizar la automatización con más claridad. (Ver figura 23).

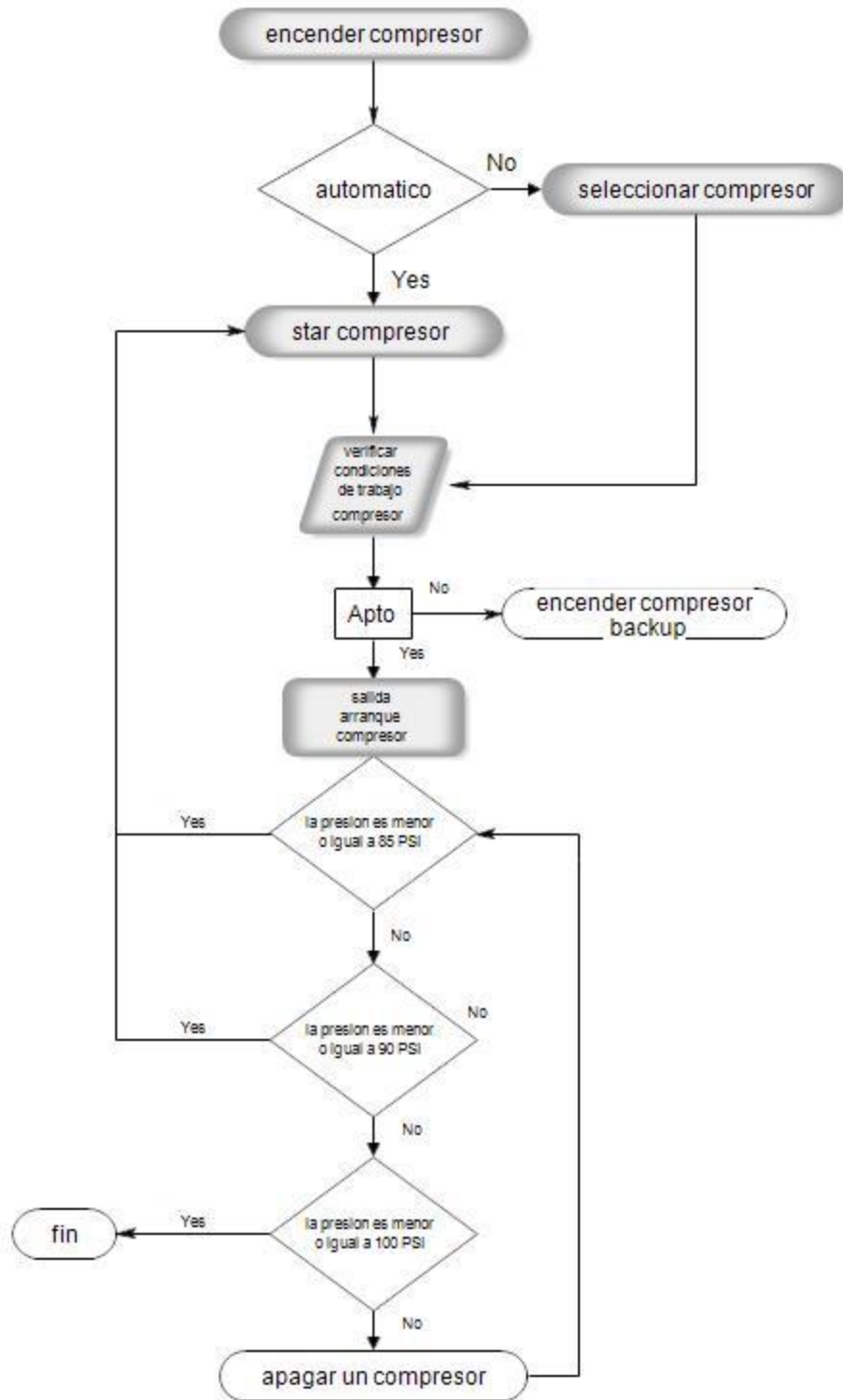


Figura 23: Diagrama de flujo automatización sala de compresores

Fuente: Mendoza 2022

4.3.4.1 Primeros pasos

- Se abre el programa Studio 5000, se selecciona la opción de " new project" en la pantalla de inicio.

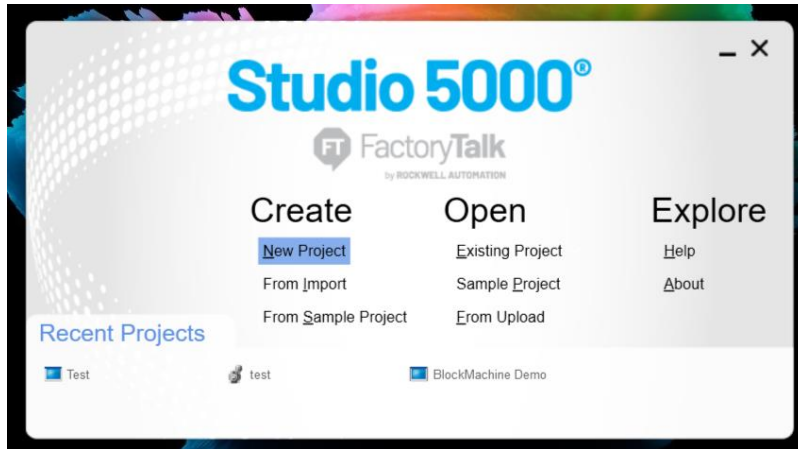


Figura 23: Software Studio 5000

Fuente: Mendoza 2022

- Luego se selecciona el controlador a utilizar en este caso se usará el ControlLogix 1756- L83E y se da click en "NEXT" ,

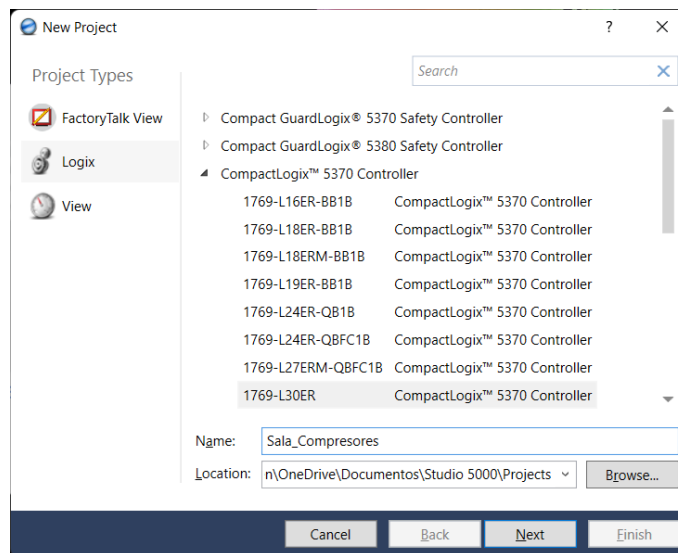


Figura 24: Elección de PLC Studio 5000

Fuente: Mendoza 2022

4.3.4.2 Definir módulos de entradas y salidas

Para definir los módulos de entradas y salidas del PLC, nos ubicamos en la ventana de “Controller organizer” que se encuentra a la izquierda, expandimos las opciones de “I/O Configurations”, luego en subcarpeta “1756 Backplane, 1756-A10 Bus”

damos clic derecho y se selecciona la opción “New Module” y luego en la opción “Abrir” y a continuación se abre una ventana emergente llamada “Seleccionar tipo de modulo”. En la figura 31 se muestra los módulos de entradas seleccionados (Ver Figura 31).

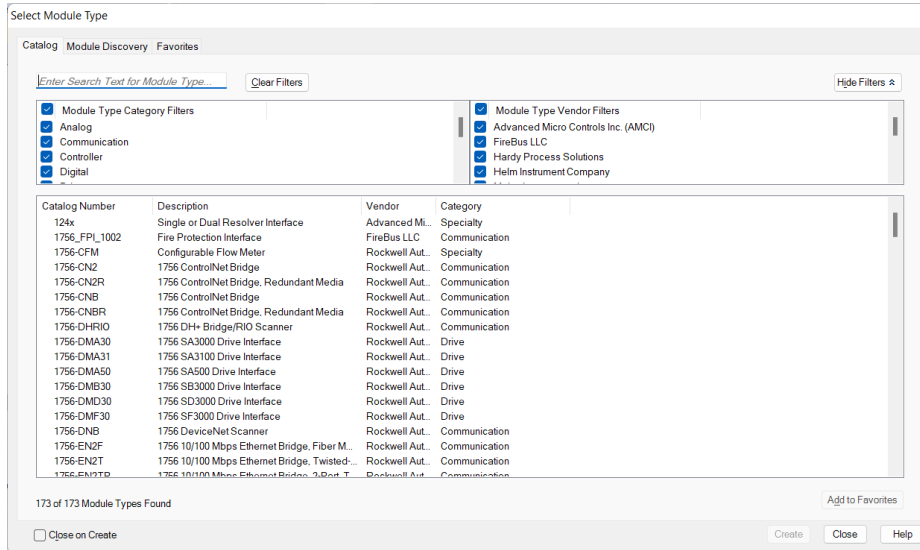


Figura 25: Elección de módulos

Fuente: Mendoza 2022

Se procede a seleccionar los módulos, 2 módulos de 32 entradas digitales cada uno, un módulo de 4 entradas analógicas, un módulo de 16 salidas digitales y un módulo ethernet. Para el proyecto se utilizarán 42 entradas digitales, 10 salidas digitales y 1 entrada analógica y 74 Tags tipo Base. A continuación, se muestra la lista de Tags.

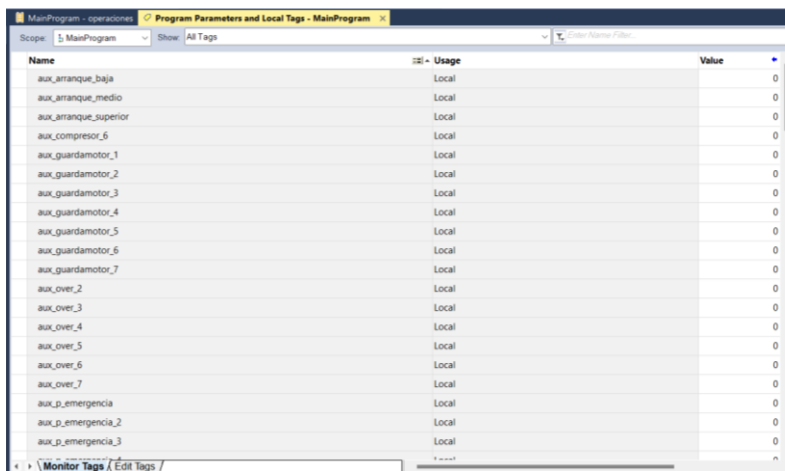


Figura 26: lista de Tags utilizados 1

Fuente: Mendoza2022

Name	Usage	Value
contact_vent_2	Local	0
contact_vent_3	Local	0
contact_vent_4	Local	0
contact_vent_5	Local	0
contactor_triangulo_1	Local	0
contactor_triangulo_2	Local	0
contactor_triangulo_3	Local	0
contactor_triangulo_4	Local	0
contactor_triangulo_5	Local	0
contactor_triangulo_6	Local	0
contactor_triangulo_7	Local	0
guardamotor_1	Local	0
guardamotor_2	Local	0
guardamotor_3	Local	0
guardamotor_4	Local	0
guardamotor_5	Local	0
guardamotor_6	Local	0
guardamotor_7	Local	0
limite_inferior	Local	0
limite_medio	Local	0

Figura 27: Lista de Tags utilizados 2

Fuente: Mendoza 2022

Name	Usage	Value
limite_medio	Local	0
limite_superior	Local	0
marca	Local	0
out_over_1	Local	0
overload_1	Local	0
overload_2	Local	0
overload_3	Local	0
overload_4	Local	0
overload_5	Local	0
overload_6	Local	0
overload_7	Local	0
P_emergencia_1	Local	0
P_emergencia_2	Local	0
P_emergencia_3	Local	0
P_emergencia_4	Local	0
P_emergencia_5	Local	0
P_emergencia_6	Local	0
P_emergencia_7	Local	0
presion_aux	Local	0
presion_escalada	Local	0

Figura 28: lista de Tags utilizados 3

Fuente: Mendoza 2022

Name	Usage	Value
presion_escalada	Local	0
presion_medida	Local	0.0
SCL_01	Local	(-)
senal_arranque_compresor_1	Local	0
senal_arranque_compresor_2	Local	0
senal_arranque_compresor_3	Local	0
senal_arranque_compresor_4	Local	0
senal_arranque_compresor_5	Local	0
senal_arranque_compresor_6	Local	0
senal_arranque_compresor_7	Local	0
star_compresor_1	Local	0
star_compresor_2	Local	0
star_compresor_3	Local	0
star_compresor_4	Local	0
star_compresor_5	Local	0
star_compresor_6	Local	0
switch_1	Local	0
switch_2	Local	0
switch_3	Local	0
switch_4	Local	0

Figura 29: lista de Tags utilizados 4

Fuente: Mendoza 2022

switch_4	Local	0
switch_5	Local	0
switch_6	Local	0
switch_7	Local	0
timer_1	Local	(-)
timer_2	Local	(-)
timer_3	Local	(-)
timer_4	Local	(-)
timer_5	Local	(-)

Figura 30: lista de Tags utilizados 5

Fuente: Mendoza 2022

4.3.4.3 Definir MainProgram.

En el bloque de organización MainProgram, se despliega la función Main routine que es aquella que representa la interfaz del sistema operativo de la CPU, este ejecuta sus instrucciones en el orden en el que se han guardado en la memoria de programa. Al llegar al fin del programa, vuelve a comenzar la ejecución del programa desde el principio. Para el trabajo de grado el bloque Main routine cuenta con 4 subrutinas que fueron definidas para realizar la automatización del sistema de operaciones de la sala de compresores de la empresa Acumuladores Duncan C.A. En la figura 26 se pueden observar todos los segmentos planteados.

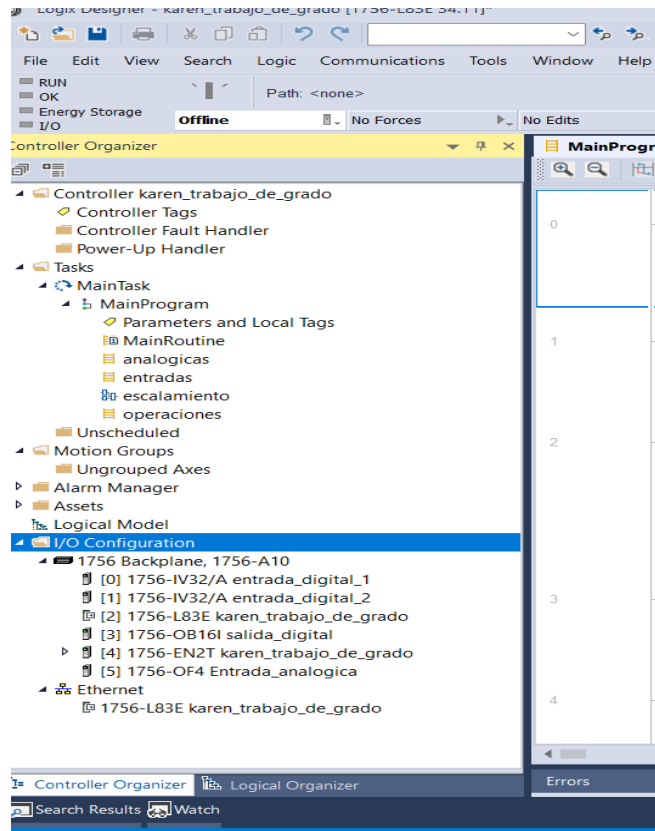


Figura 31: Main program

Forma: Mendoza 2022

4.4.4.4 Definición de las sub rutinas

En el Main routine se utilizará la función JSR la cual significa Jump to subrutina, que como su nombre lo indica, esta me permite hacer una programación más ordenada, de esta manera el bloque Main va a llamar a cada una de las subrutinas cuando sea necesario. Las subrutinas declaradas son, analógica, entrada, escalamiento y operaciones. (Ver figura 32)

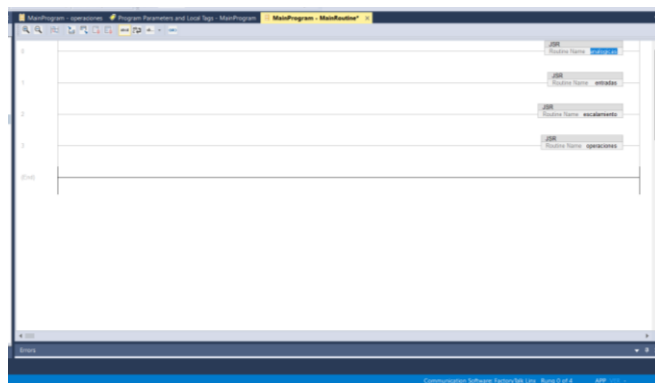


Figura 32: Mainroutin

Fuente: Mendoza 2022

Entradas: en la subrutina entrada se definieron todas las condiciones iniciales de arranque de cada compresor junto con salidas auxiliares del tipo base, cada condición será definida como entrada digital, se utilizaron 2 módulos de 32 entradas digitales 1756-IV31/A ubicados en los slot 0 y 1 respectivamente. (Ver Figuras 33, 34, 35, 36, 37).

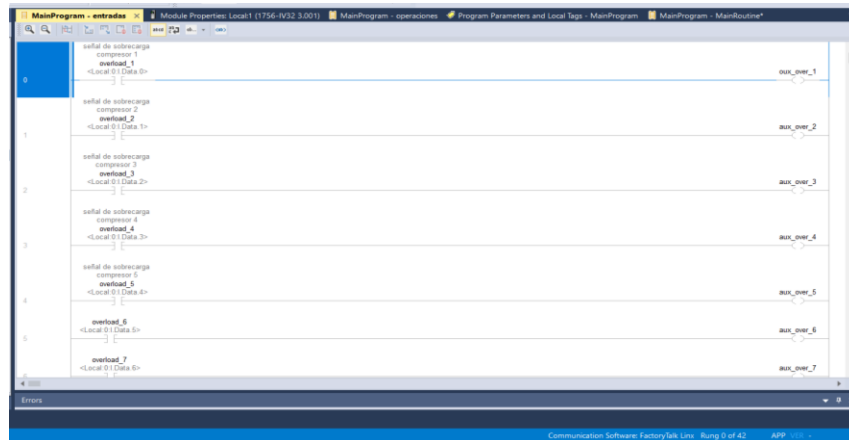


Figura 33: Subrutina entradas 1
Fuente: Mendoza 2022

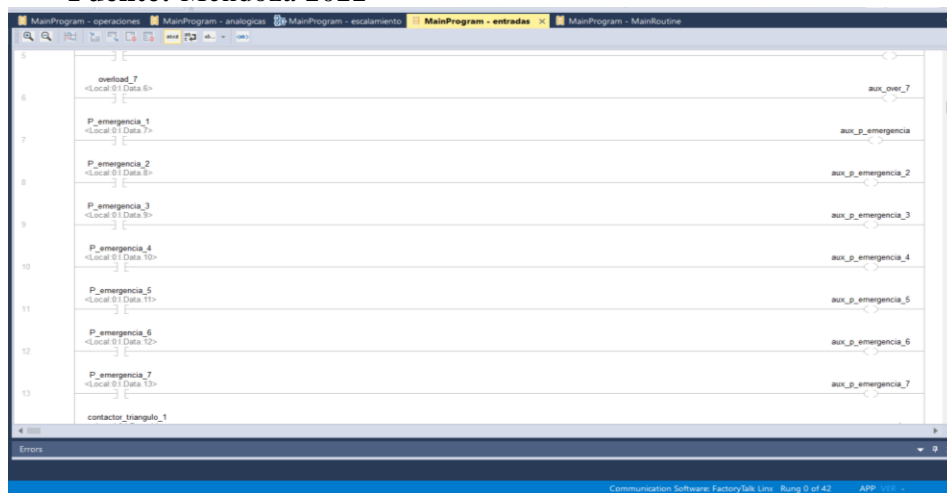


Figura 34: Subrutina entradas 2
Fuente: Mendoza 2022

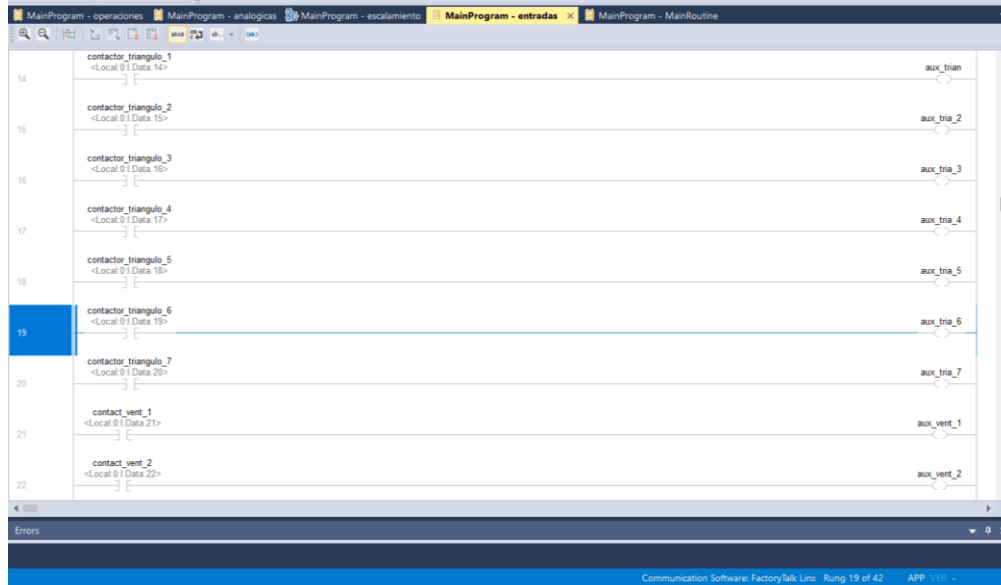


Figura 35: Subrutina entradas 3

Fuente: Mendoza 2022

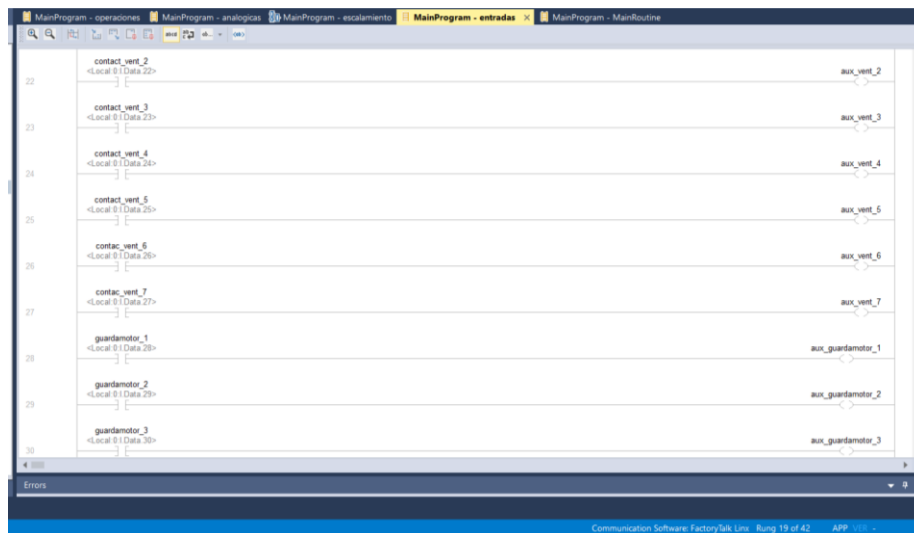


Figura 36: Subrutina entrada 4

Fuente: Mendoza 2022

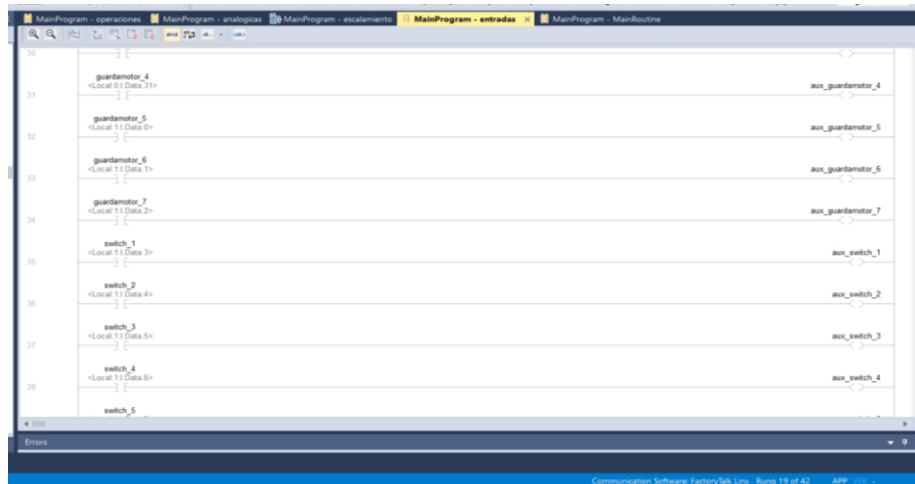


Figura 37: Subrutina entrada 5

Fuente: Mendoza 2022

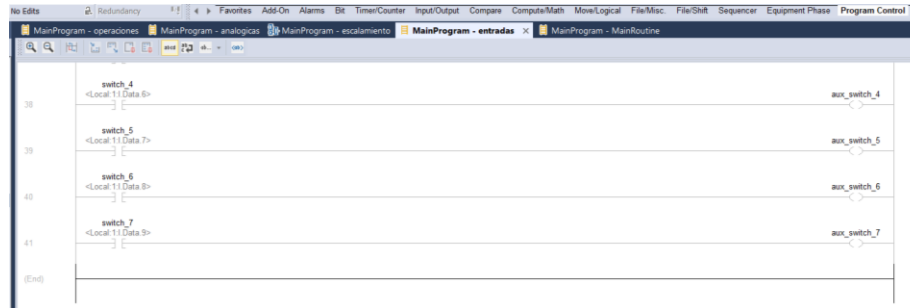


Figura 38: Subrutina entrada 6

Fuente: Mendoza 2022

Escalamiento: la sub rutina escalamiento se realizó a diferencia de la anterior en la función diagrama de bloque, ya que opción SCL solo se ve reflejada en el antes mencionado, en la parte superior de la barra de opciones se encuentra la opción process. Para operar esta opción se debe seleccionar, agregarle un bloque de en entrada donde se va a colocar la variable analógica que viene del transmisor de presión (Presión medida) y un bloque de salida para conectarlo en la salida (Presión escalada), donde se va a almacenar el valor escalado, dicho valor se determina como real. (Ver figura 39)

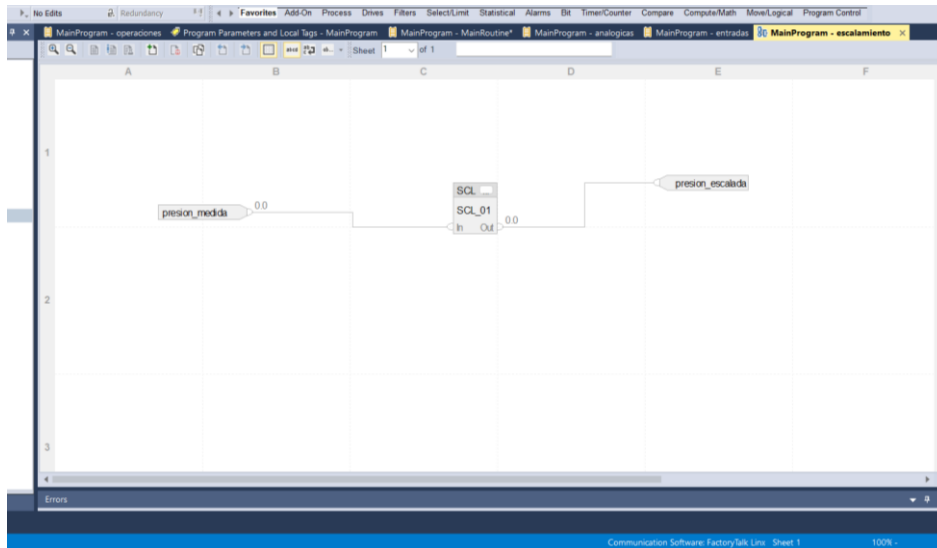


Figura 39: Subrutina escalamiento

Fuente: Mendoza 2022

Analógica: en la subrutina analógica se procede a operar lo la variable analógica ya escalada. Se insertará la función MOV que me va a permitir mover la variable presión escalda a un destino, en este caso presión aux, para de esta manera poder comprar los distintos valores de presión y para cada valor ejecutar una acción.

- La primera condición es LEQ, menor o igual, aquí se introdujo el auxiliar de presión y se comparó con una nueva variable del tipo base llamada limite inferior, donde se compara si dicho valor, que en este caso será 85 psi, cumple o no con la misma
- En la segunda condición también se emplea la función LEQ pero en este caso la variable del tipo base será llamada limite medio, donde comparar si la presión auxiliar es menor o igual a 90 psi
- La tercera condición es al igual que las antes mencionadas (función LEQ) pero con presión auxiliar, comparada con la variable límite superior el cual indica si el valor de presión es menor o igual que 100 psi
- Para finalizar con esta subrutina, en el último rung se colocaron 2 funciones, GEQ (mayor o igual) comparada con la variable limite medio y LEQ (menor o igual) comparada con límite superior, pero está a diferencia de las demás rung va a tener una salida auxiliar solo para el compresor número 6.

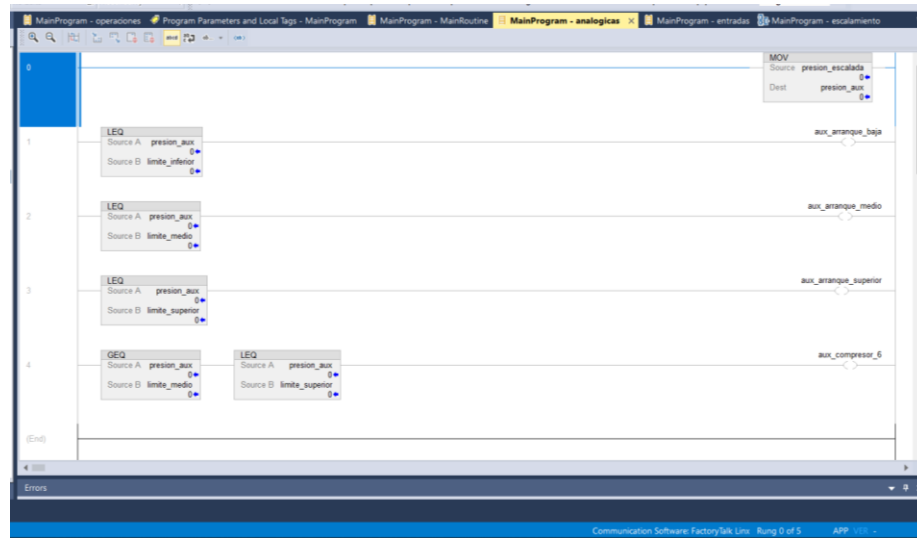


Figura 40: Subrutina Analógica

Fuente: Mendoza 2022

Operaciones: en esta subrutina se realiza el conjunto de operaciones que darán como consecuencia el control automático de la sala de compresores.

- Encendido automático, el primer rung es designado al funcionamiento del compresor 1. Antes de la puesta en marcha del compresor se deben cumplir ciertas condiciones, que no haya alarma de falla en el guardamotor, que no haya alarma en el relé de sobrecarga, que esté funcionando el ventilador del compresor, que no está la parada de emergencia activada, que no haya alarma por nivel de aceite y que se cumpla la condición auxiliar de límite superior que se declaró en la subrutina de nombre analógica, una vez cumplidas todas las condiciones se genera un pulso (star compresor)que encenderá el compresor posterior a esto se agregó un TON (time on delay) el cual tendrá un retardo de 5 segundos para permitir completar el arranque del compresor y a la variable analógica obtener los valores de presión, una vez cumplido este controlador del compresor notar que no llega a los valores de presión, al transcurrir este tiempo comienza a producirse la misma secuencia anterior pero con el compresor 2 y así sucesivamente hasta llegar al compresor 5 (Se hace hasta el compresor 5 ya que actualmente son los que en la mayoría del caso están en funcionamiento). Sin embargo, si en el transcurso de los encendidos de los compresores ya se satisface la demanda de presión antes del compresor 5, dejaran de encenderse las unidades siguientes.

- El encendido del compresor 6 está condicionado a encender solo si hay alguna caída de presión, esta acción se hace gracias a que se coloca el contacto star del compresor en paralelo con el auxiliar del compresor 6 de las funciones de la subrutina analógica, al cumplirse ambas condiciones, al igual que los parámetros de seguridad de encendido antes mencionados, se procede a verificar que ciertamente estén encendidos los otros 5 compresores a través de la información del contactor estrella del arranque estrella triangulo de la bobina del motor del compresor mediante las entradas digitales llamadas contactor estrella.
- Compresor de backup, el compresor numero 7 es el encargado de entrar a trabajar cuando alguna de los 6 unidades compresora falla o no esta disponible, esto se logra colocando en paralelo con contactos normalmente cerrados de todas las señales de arranque de los 6 compresores, cuando uno de estos contactos se abre, se procede a verificar que sus condiciones de seguridad se cumplen y se enciende de manera automática el compresor 7.
- Primer arranque de un compresor diferente al compresor número 1, para esto se coloca en el rung 1 en paralelo junto con el star del compresor 1 y la señal de arranque 1, un nuevo contacto llamado auto, todos los timer y las entradas de los contactores estrella, pero estas con contactos normalmente cerrado, para que de esta manera sin importar cual compresor se arranque primero, puedan de igual forma arrancar de manera secuencial y cumplir con la demanda de presión de la empresa.
- Por petición del gerente del departamento mecánico se debe permitir el encendido manual y forzado de algún compresor, sin importar que alguna alarma de falla le impida encender, para esto se dejaron los contactos de star compresor. (es importante destacar que en el HMI se podrán realizar los encendidos de todos los compresores, pero también pueden encenderlos directamente en el equipo).

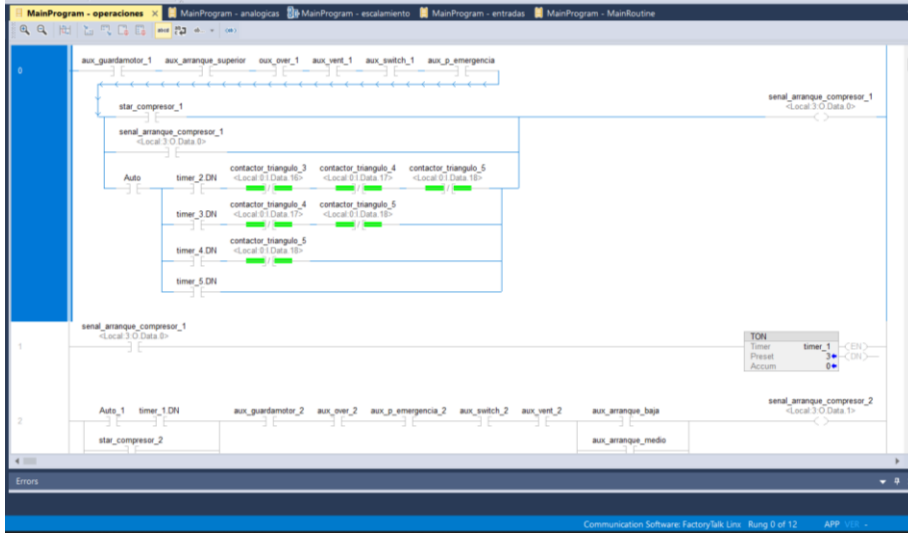


Figura 41: Subrutina operaciones 1
fuentes: Mendoza 2022

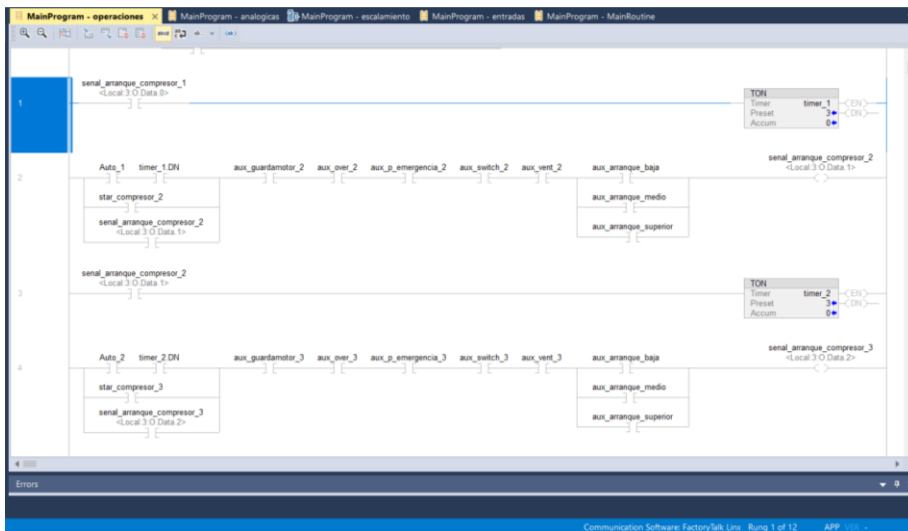


Figura 42: Subrutina operaciones 2
Fuente: Mendoza 2022

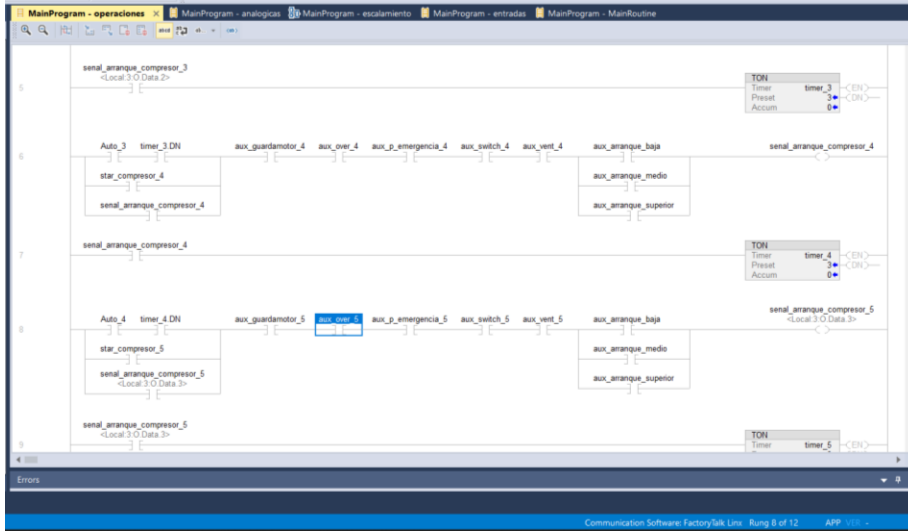


Figura 43: Subrutina operaciones 3

Fuente: Mendoza 2022

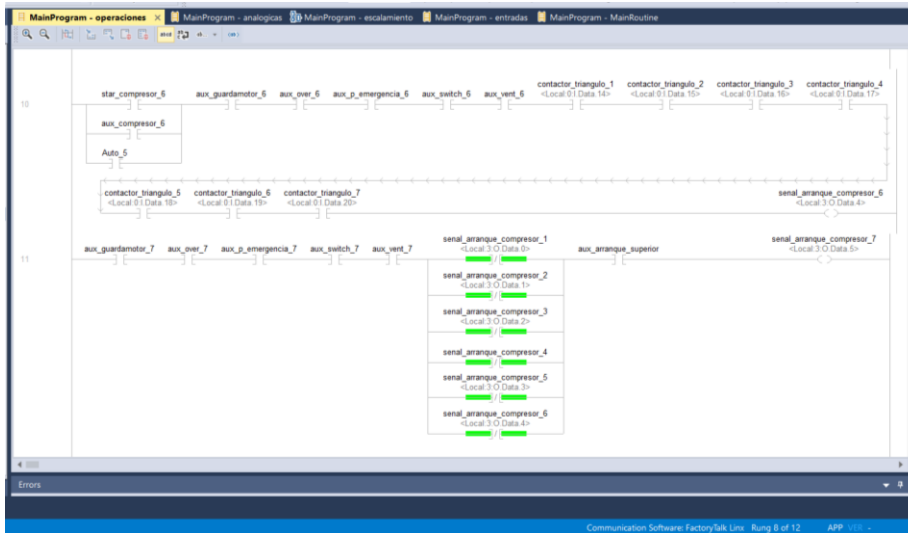


Figura 44: Subrutina operaciones 4

Fuente: Mendoza 2022

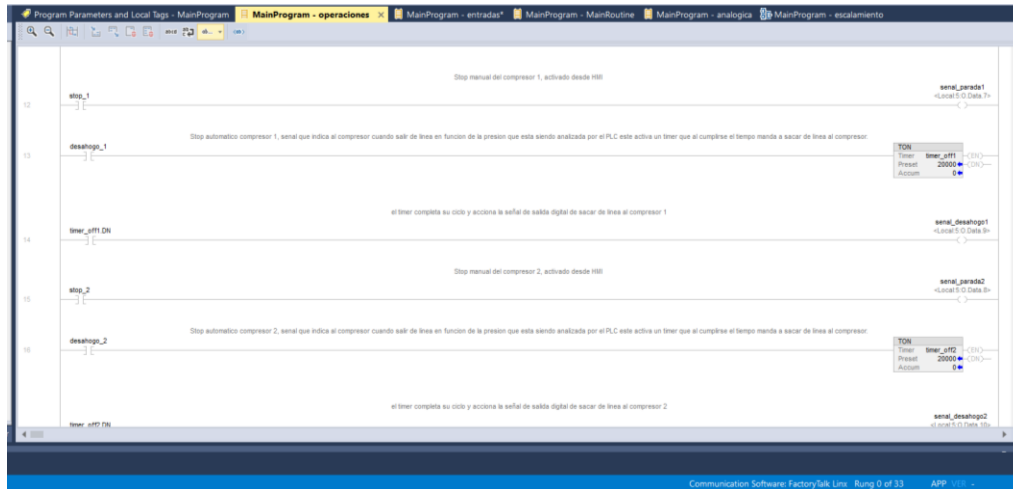


Figura 45: Subrutina operaciones 5

Fuente: Mendoza 2022

4.4 Fase IV: Diseño de una interface hombre maquina (HMI) que muestre la operación de alternancia y puntos críticos de funcionamiento de la sala de compresores de la empresa Acumuladores Duncan C.A. ubicada en Cagua Estado Aragua.

Una interfaz Hombre - Máquina o HMI ("Human Machine Interface") es el aparato que presenta los datos a un operador (humano) y a través del cual éste controla el proceso.

Los sistemas Human Machine Interface (HMI). Es un dispositivo o sistema que permite el interfaz entre la persona y la máquina se están masificando cada vez más a nivel industrial. Esta tendencia se debe principalmente a la necesidad de tener un control más preciso y agudo de las variables de producción y de contar con información relevante de los distintos procesos en tiempo real.

Se eligió el HMI modelo PanelView 5310 2713P-T7WD1, debido a que igual que el PLC, se encuentra disponible en el almacén de la empresa ACUMULADORES DUNCAN, C.A. y se llegó al acuerdo de incluirlo a la propuesta para ahorrar costos.

Los terminales PanelView™ 5310 son dispositivos de interface de operador que monitorean y controlan los dispositivos conectados a los controladores ControlLogix, mediante un módulo de red EtherNet/IP™. Las visualizaciones de texto y gráficos animadas ofrecen a los operadores una perspectiva del estado operativo de una máquina o

proceso. Los operadores interactúan con el sistema de control mediante la pantalla táctil. Los terminales PanelView 5310 incluyen estas características y funciones:

- Un entorno de diseño y control estrechamente integrado que permite compartir información entre el terminal PanelView 5310 y las plataformas Logix.
- El entorno Studio 5000 proporciona un punto de acceso para las aplicaciones Studio 5000 View Designer y Studio 5000 Logix Designer.
- La conexión al controlador CompactLogix L3 con revisión de firmware 27 o posterior.
- Admite un máximo de 100 pantallas definidas por el usuario.
- Admite un máximo de 4000 alarmas basadas en Logix.
- Menú de navegación por las pantallas fácilmente configurable.
- Revestimiento de conformación disponible para todos los tamaños de terminales.

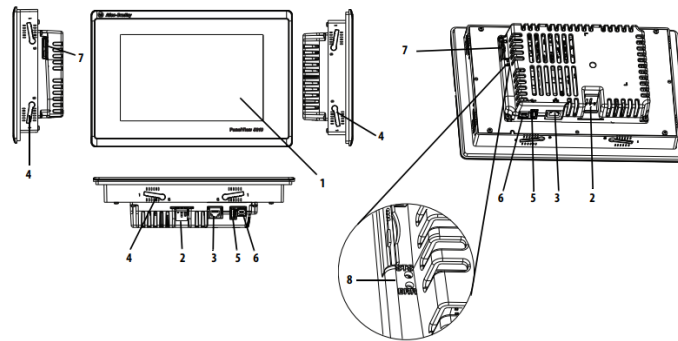


Figura 46: PanelView 5310 2713P-T7WD1

Fuente: Mendoza 2022

4.4.1 Descripción del HMI

El diseño del HMI presentado en este proyecto de investigación, cumple con las funciones necesarias por el sistema que se requiere automatizar, esta interfaz cuenta con diferentes imágenes en donde el operador puede manejar tanto el sistema automático como manual, en total cuenta con 9 pantallas las cuales son nombradas a continuación.

- Main
- Menú
- Grafica
- Manual(menú)
- Auto (menú)
- Alarma

En la figura 46 se puede observar la pantalla principal (Main) del HMI, la cual consta de una imagen donde se aprecia la sala de compresores, el logo de la empresa y un botón que direcciona a la pantalla menú. (Ver figura 46).

La pantalla menú consta de 5 botones: Grafica, operaciones, alarma, eventos y salidas, cada uno direcciona a otra pantalla respectivamente. (Ver figura 47)

- Botón gráfico: en esta pantalla se mostrará una gráfica de tendencia que mostrará las variaciones de presión obteniendo información de la entrada analógica del transmisor de presión. (ver Figura 48)
- Botón operaciones: esta pantalla direcciona a un sub menú que da las opciones de operación de compresor y auto. (Ver figuran 49).
- Auto(menu): la pantalla operación en modo auto, tiene una serie de de botones, cada uno correspondiente a un compresor, el cual el usuario podrá seleccionar el compresor quiere encender y el programa continuará haciendo el encendido en secuencia y en función de la demanda de la empresa. (Ver figura 51).
- Botón Alarma: este botón direcciona a una pantalla que mostrara las alarmas del proceso, fallas del compresor y del transmisor de presión. (Ver figura 52)
- Botón eventos: con la función de este botón se direcciona a pantalla eventos, la cual mostrara un resumen de todas las alarmas que se presentaron durante el proceso.(Ven Figura 53).



Figura 47: Pantalla main
Fuente: Mendoza 2022

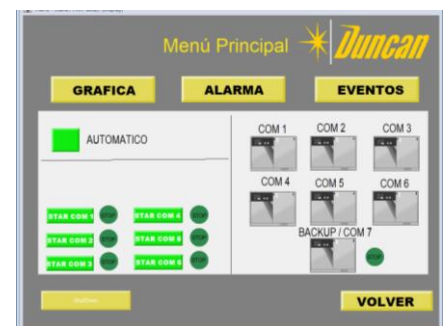


Figura 48: Pantalla Menú
Fuente: Mendoza 2022



Figura 49: Pantalla Grafica
Fuente: Mendoza 2022

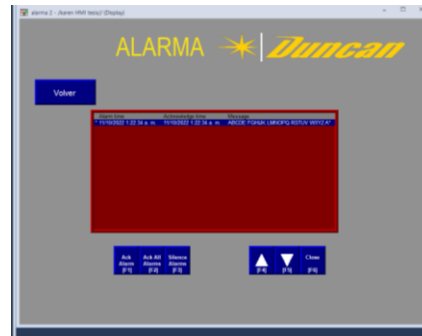


Figura 50: Pantalla alarmas
Fuente: Mendoza 2022

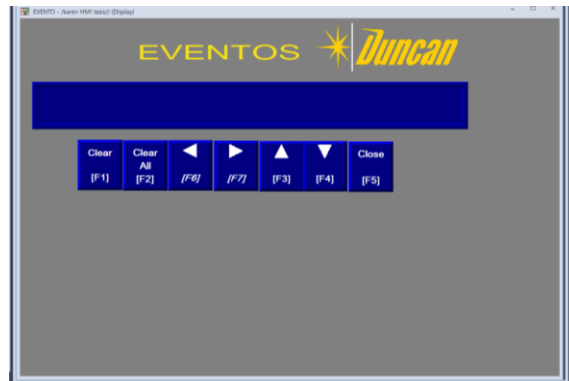


Figura 51: Pantalla eventos
Fuente: Mendoza 2022

4.5 Fase V: Implementación de un sistema de simulación para mostrar de manera virtual, el funcionamiento del sistema antes de su puesta en marcha.

Para la simulación del sistema se utilizará Studio 5000 Logix Emulate, el cual pertenece al paquete Studio 5000 de la familia de Rockwell Automation. Antes de poner en marcha la simulación se debe enlazar el controlador con el emulador a través de la herramienta RSLinx Classic, como se muestra a continuación. (Ver figura 54)

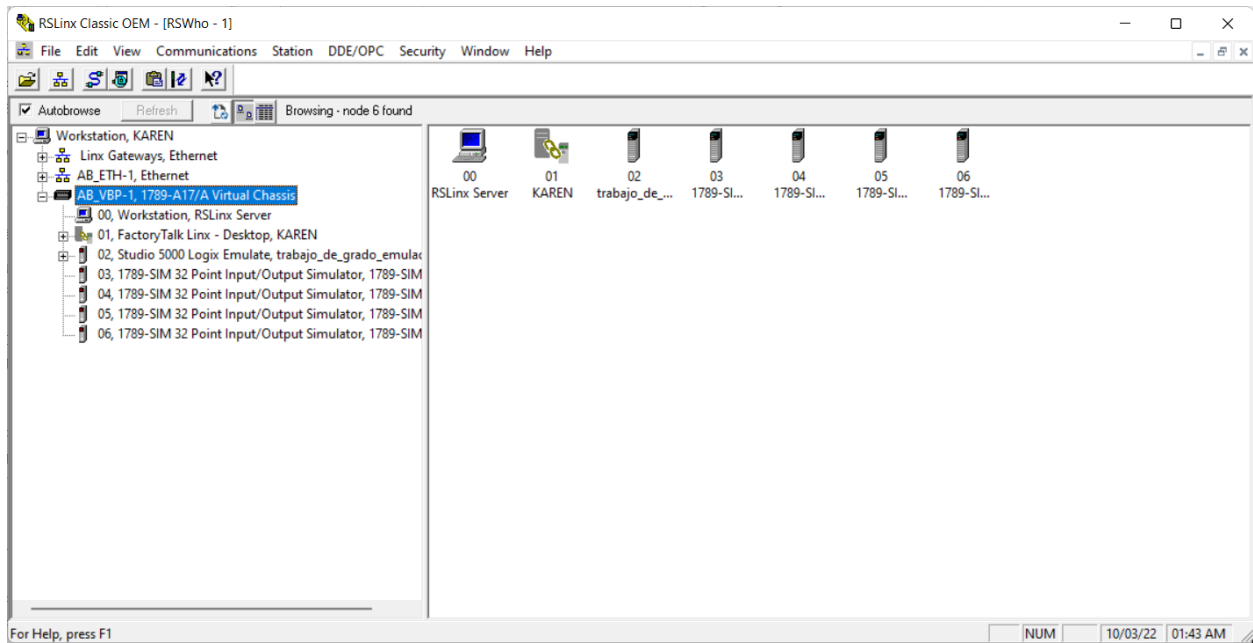


Figura 52: RSLinx
Fuente: Mendoza 2022

Para comenzar la simulación, se abre el software de Studio 5000 Logix Emulate y se selecciona los módulos a utilizar. (Ver figura 55)

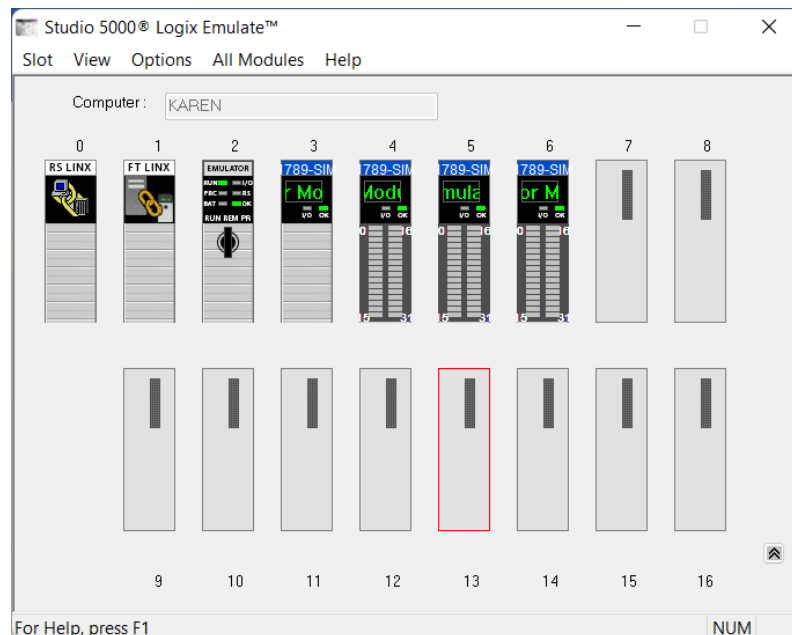


Figura 53: Studio 5000 Logix Emulate
Fuente: Mendoza 2022

Una vez realizados estos pasos, se procede a iniciar la simulación, se verifica en el software Studio 5000 en la pestaña “Logic” y se selecciona “verify” y se desplegarán más

opciones, se selecciona routine y controller para asegurar que no exista error, posteriormente se selecciona en la pestaña “communications” la opción “who active”. (Ver imagen 56)

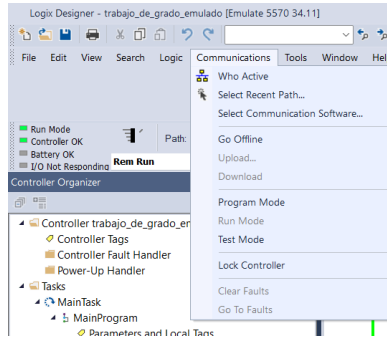


Figura 54: Pestaña “Who active”
Fuente: Mendoza 2022

Se abrirá una ventana emergente en la cual se seleccionará el emulador y luego se le dará click a “Download” lo que significa que se descargará el programa en el emulador del controlador. (ver figura 57)

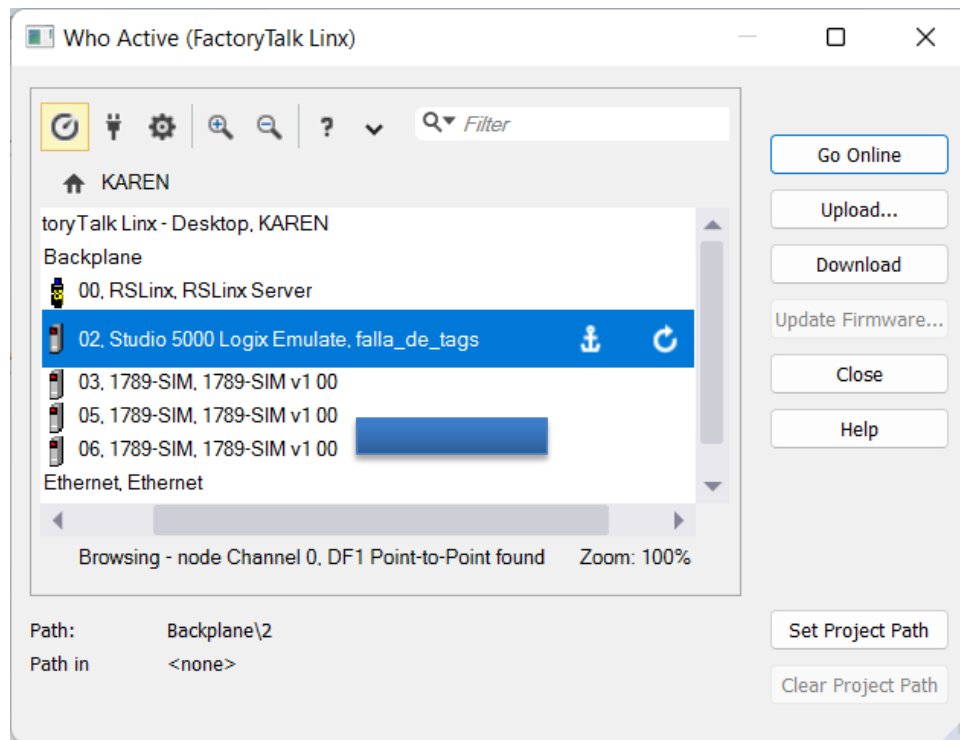


Figura 55: Pestaña “Who active” 2
Fuente: Mendoza 2022

Una vez que el programa está en línea con el emulador, y descargado el programa le damos click en “go online” y se comienza a simular.

Para iniciar, hay que comenzar con la subrutina “entradas”, se le va a dar un “toggle bit” a cada entrada de la misma, para imitar la señal que emitiría el controlador del compresor, y asumiendo que todos los compresores están trabajando sin ninguna falla.

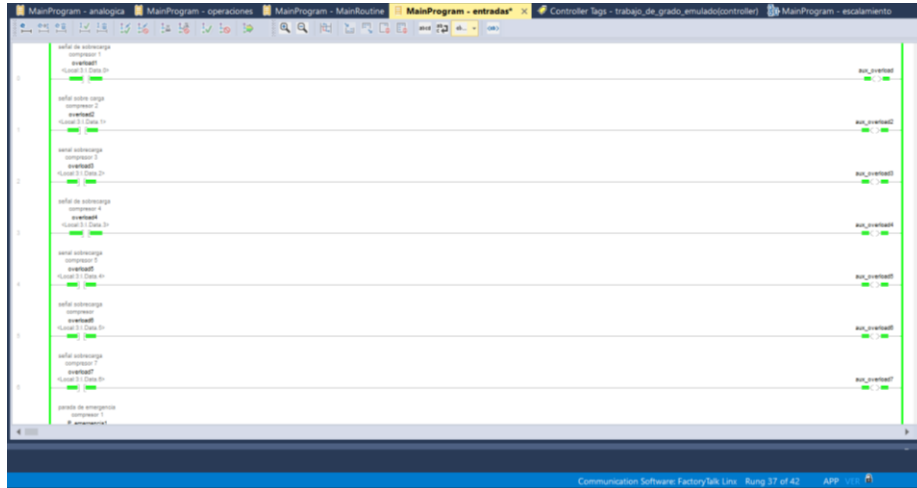


Figura 56: entradas simuladas
Fuente: Mendoza 2022

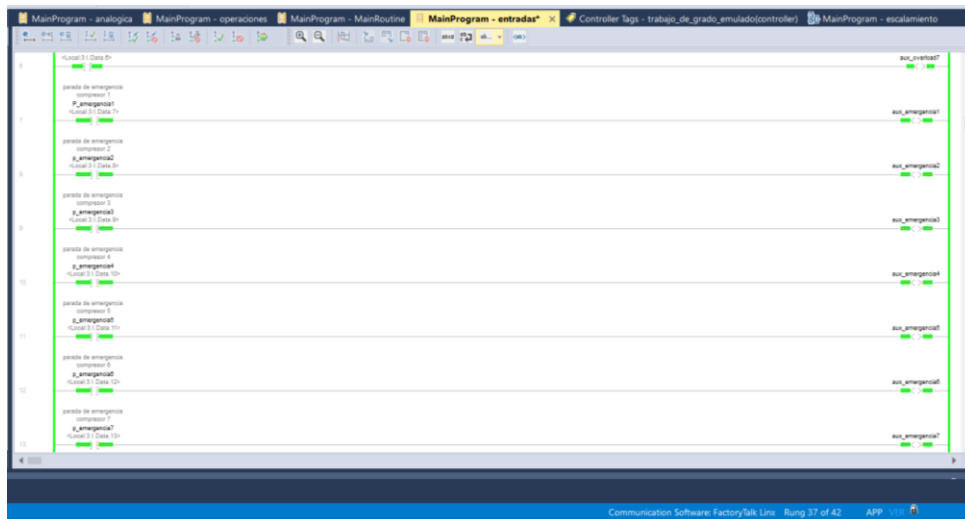


Figura 57: entradas simuladas 2
Fuente: Mendoza 2022

Como se mencionó antes, tenemos la simulación para todas las entradas digitales de los compresores (ver figura 33, 34, 35 ,36 y 38)

Cumpliendo todas esas condiciones y presionando “Star compresor 1” se observa que se activa la salida digital, “Señal arranque 1” del compresor y en tiempo especificado es de 3s se procede a activar la secuencia en el compresor 1, tal como lo descrito en la fase 4.3. A continuación, se puede apreciar el encendido en cascada de los compresores

de manera automática, evaluando todas las condiciones iniciales de los compresores, e identificando los valores de la variable analógica presión (PSI), para de esta manera garantizar el suministro de aire comprimido y el uso optimo de los equipos. (Ver figura)

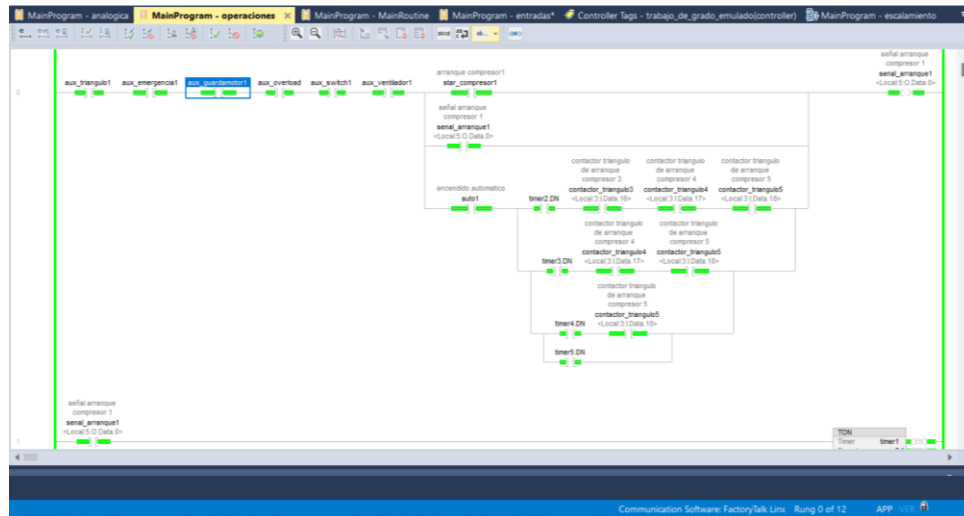


Figura 58: simulación subrutina operaciones
Fuente: Mendoza 2022

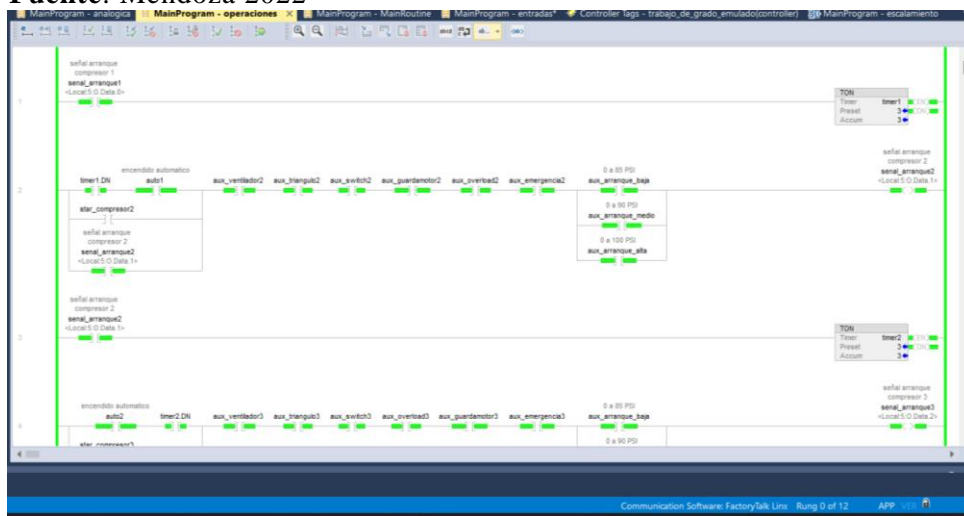


Figura 59: simulación subrutina operaciones 2
Fuente: Mendoza 2022

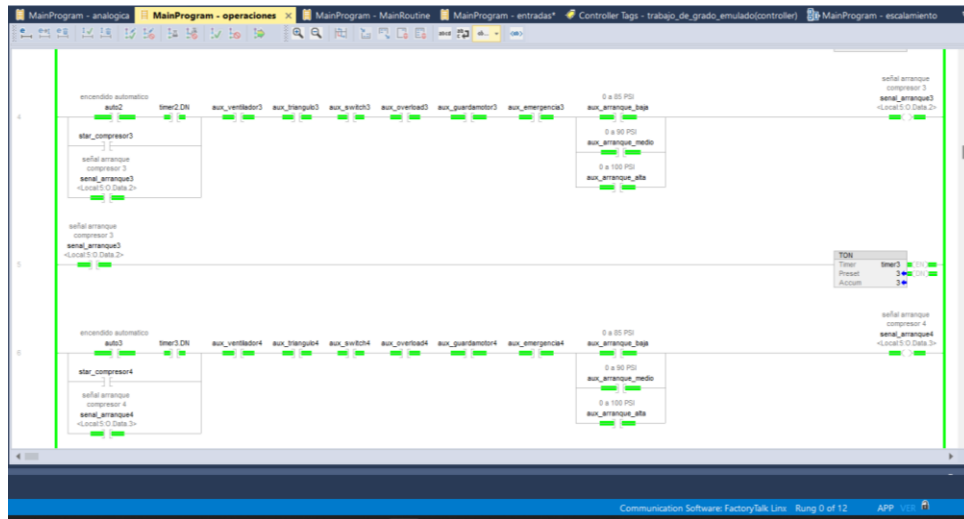


Figura 60: simulación subrutina operaciones 3
Fuente: Mendoza 2022

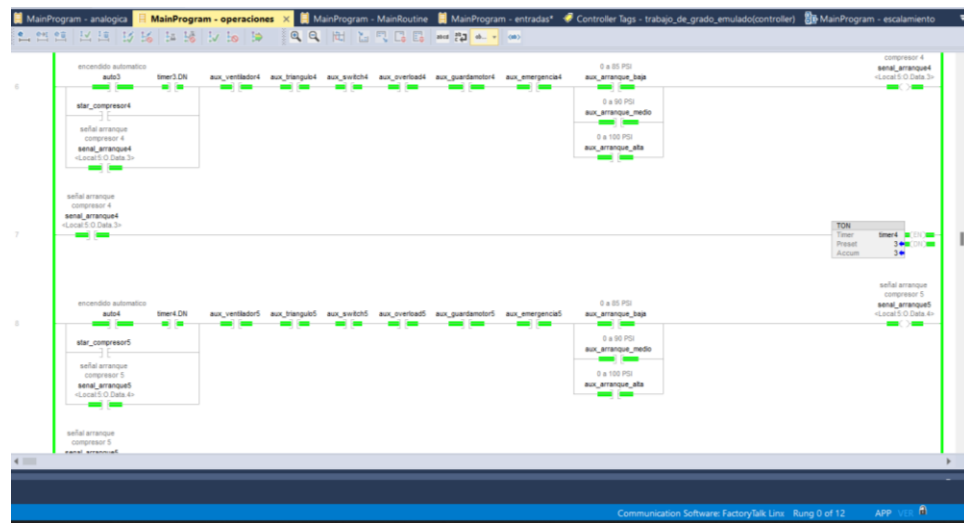


Figura 6.: simulación subrutina operaciones 4
Fuente: Mendoza 2022

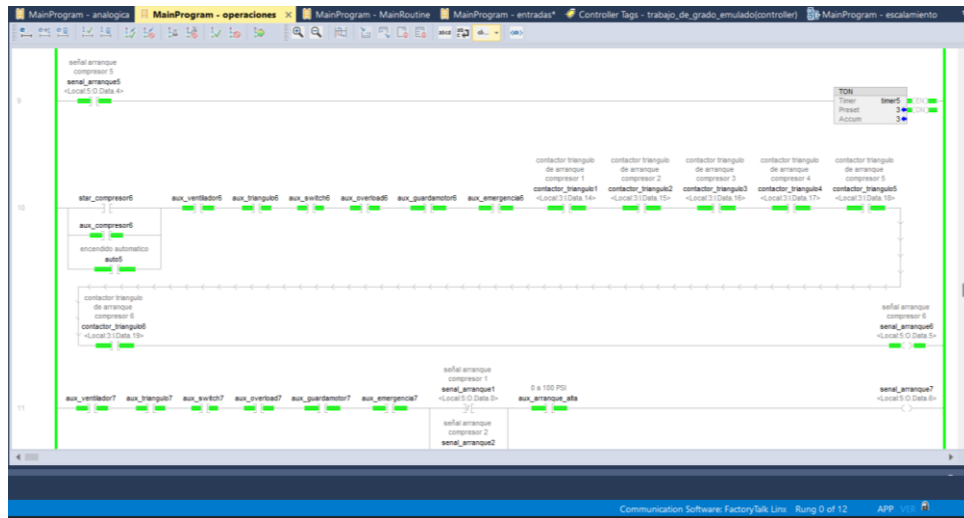


Figura 62: simulación subrutina operaciones 5
Fuente: Mendoza 2022

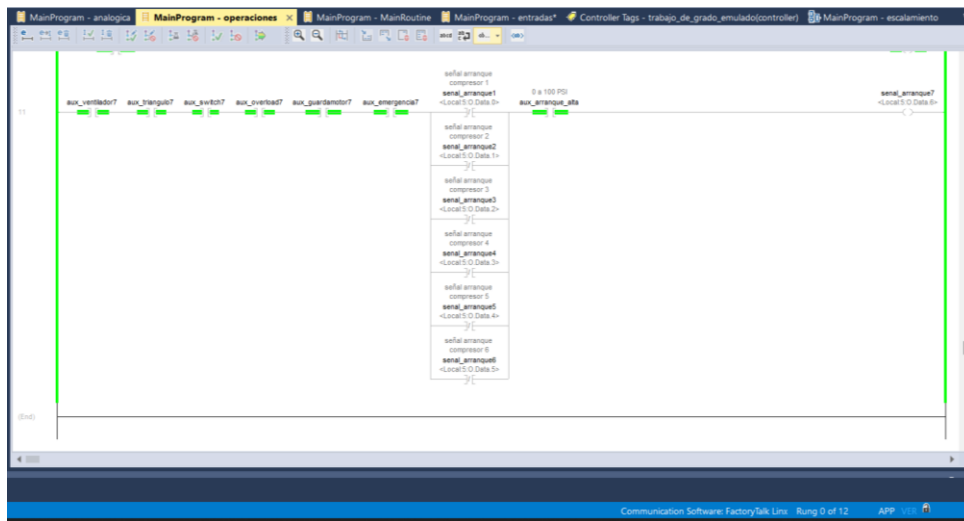


Figura 63: simulación subrutina operaciones 6
Fuente: Mendoza 2022

En caso de no cumplirse algunas de las condiciones de seguridad establecidas, debe encender el compresor 7 para no afectar el suministro de aire comprimido a planta, a continuación, se muestra la simulación de un ejemplo, tomando en este caso, como que el compresor 6 no encendió, y se aprecia como ciertamente entra en funcionamiento el compresor 7. (Ver figura)

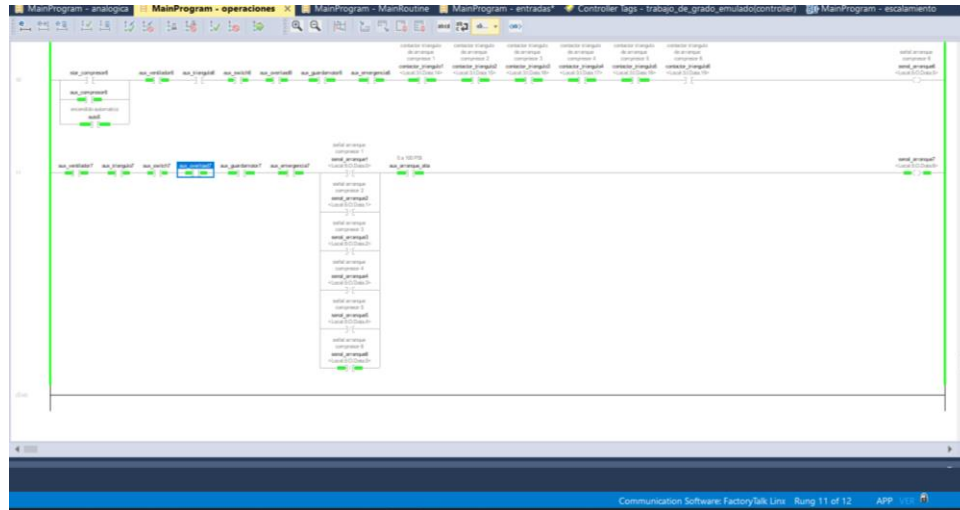


Figura 64: simulación subrutina operaciones 7
Fuente: Mendoza 2022

4.6 Fase VI: Realización de un estudio de factibilidad, operativa, técnica y económica para la automatización del sistema de operación de la sala de compresores de la empresa Acumuladores Duncan C.A. ubicada en Cagua Estado Aragua.

Para el éxito de todo proyecto, es necesario determinar un estudio de factibilidad, el cual es uno de los resultados más esperados e importantes en la etapa del anteproyecto. Para ello, dicho estudio está dividido en tres fases: operativo técnico, y económica.

4.6.1 Factibilidad económica

El estudio de factibilidad económica permite realizar una evaluación sobre la conveniencia de invertir o no en un proyecto determinado. Dicha factibilidad se establece detallando todos aquellos costos involucrados en el desarrollo, implementación y operación del nuevo sistema que se plantea.

El estudio de factibilidad económico se realizó en función de la producción diaria de 3000 Baterías, el costo de la batería salida de planta es confidencial sin embargo para efectos del trabajo se tomo como referencia el precio de una de las baterías de menor valor monetario según la pagina web de Duncan. C.A. en la del modelo 36MR-700 amp con un valor de 68 \$, estimando que el costo de producción sea menor, se estableció que el precio unitario de baterías es de 50 \$.

3000 Baterías diarias equivalen a 187 baterías / hora.

187 baterías/hora x 50\$ = 9.350,00 \$

Ingreso neto planta según producción de batería actual.

Ahora bien, la propuesta de automatización planteada en este trabajo de grado ofrece mejorar el proceso productivo disminuyendo el tiempo que se llevan las actividades realizadas de manera manual por el personal de servicios generales y mantenimiento. Como lo son, encendido automático del sistema de compresores, esta tarea tiene una relación de 10 min/ día, para un total de 5 horas al mes. Mientras que la sustitución de un compresor que presente falla por la unidad compresora de backup puede generar un atraso de otros 10 min semanales en la producción, que llevado a meses son 40 min/mes. para un total de 5:40 horas/mes.

Si se hacen 187 baterías en una (1) hora entonces en 5:40 horas se harían 1009,8 baterías por mes.

1009.8 baterías x 50\$ = 50.490\$ al mes.

Partiendo de los datos descritos anteriormente, se obtiene la siguiente tabla.

Tabla 8: Descripción de actividades del proyecto.

ITEM	DESCRIPCION	BATERIAS /HORA	MONTO \$
1	Arranque sistema	935 baterías	46.750 \$
2	Corrección de falla compresor	74.8 baterías	3.740 \$
	TOTAL	1.009,8	50.490\$

Fuente: Mendoza 2022

A continuación, se definen los recursos monetarios necesarios para la adquisición de activos fijos tangibles e intangibles requeridos para el desarrollo y la puesta en marcha el proyecto.

Costos: Se requiere de una inversión inicial para conseguir los recursos necesarios para que el sistema pueda empezar a funcionar. Se detallara el costo de los equipos para poder llevar a cabo la propuesta de automatización de operaciones de la sala de compresores y el costo del personal necesario para el desarrollo del sistema, cabe destacar que los precios referenciales mencionados se tomaron de distintos proveedores,

la mayoría de los precios presentados fueron obtenidos mediante pedidos de presupuestos en páginas web especializadas en la venta de equipos electrónicos y eléctricos industriales, algunas de ellas son nacionales y otras extranjeras. Se utilizaron presupuestos de Mercado Libre, Amazon, Ebay y otros. A continuación, se resumen estos diferentes gastos, clasificados en distintas categorías.

Tabla 9: Costo Materiales

ITEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	TOTAL (\$)
1	PLC 1769-L35E	1	800	800
2	Pantallas HMI- panel view 600	1	650	650
3	Módulo de entradas/salidas analógicas	1	150	150
4	Módulo de entradas/salidas digitales	2	150	300
5	Fuente de Alimentación	1	150	150
6	-transmisor presión 0-200psi 4-20ma	1	250	250
7	cable multipar 10x18	180 metros	3	540
8	Cable apantallado 2x16	130 metro	8	1040
9	Bornera cable 18	120	2	240
10	Tablero de control 50x40x20	1	120	120
11	Cable utp nivel 5	1	3	3
12	Perfil simetrico	1	4	4
13	Conector rj45	2	3	6
14	terminales de punta	100	2.5	250
			TOTAL	4.503 \$

Fuente: Mendoza(2022).

Presupuesto del personal:

El proyecto se llevará a cabo por un (1) ingeniero electrónico, un (1) electrónica y 2 ayudantes electricistas. Trabajando 12 días hábiles, 8 horas diarias. El precio unitario por hora de trabajo de cada profesional fue calculado según el tabulador de sueldos y salarios mínimos para los profesionales del Colegio de ingenieros de Venezuela en función a sus años de experiencia. Sin embargo, es necesario resaltar que al ser un contrato de trabajo por un tiempo parcial se realizara el cálculo en función a los montos referenciales brindados por distintos profesionales en el área. La Tabla 5 muestra el costo de personal.

Tabla 10. Costo del personal (Colegio de ingenieros)

ITEM	DESCRIPCIÓN	Años de experiencia	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	TOTAL (\$)
1	Ing. Electrónico	5 años	Horas	96	2.64	253,98
1	Electricista	5 años	Horas	96	1	96
2	Ayudante	5 años	Horas	96	0.61	117.3
					TOTAL	467,28 \$

Fuente: Mendoza 2022

Tabla 11. Costo del personal (Contratistas)

ITEM	DESCRIPCIÓN	Años de experiencia	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	TOTAL (\$)
1	Ing. Electrónico	5 años	Horas	96	12.5	1.200
1	Electricista	5 años	Horas	96	6.25	600
2	Ayudante	5 años	Horas	96	2.5	480
					TOTAL	2.280 \$

Fuente: Mendoza 2022

Tabla 12. Costo total inversión (Mano de obra precio contratista)

Costo total de materiales	I.V.A. (16%)	Costo total de mano de obra	Costo total del proyecto	Improvisto +10%
4.503 \$	1.258.92\$	2.280\$	7.868,28 \$	8.655,10 \$

Fuente: Mendoza 2022

Con los datos obtenidos de la empresa y los costos del proyecto, es posible realizar el valor presente neto, la tasa interna de retorno de inversión y el punto de equilibrio, el cual indica el tiempo en el que la empresa va a recuperar la inversión.

De la tabla de descripción de actividades del proyecto, se tomarán el total de la columna “MONTO” como ingreso y el costo total de la inversión como el egreso.

Tabla 13: Valor presente neutro.

Valor presente neto

Inversion del Proyecto: \$ 8.655,10
 inversion en 10 meses: \$ 865,65
 Ingresos mensuales: \$ 50.490,00
 Tasa descuento: 10%

vna: \$ 251.939,56

MES	EGRESOS	INGRESOS	FCL
Mes 1	\$ -8.655,10		\$ -8.655,10
Mes 2	\$ -865,51	\$ 50.490,00	\$ 49.624,49
Mes 3	\$ -865,51	\$ 50.490,00	\$ 49.624,49
Mes 4	\$ -865,51	\$ 50.490,00	\$ 49.624,49
Mes 5	\$ -865,51	\$ 50.490,00	\$ 49.624,49
Mes 6	\$ -865,51	\$ 50.490,00	\$ 49.624,49
Mes 7	\$ -865,51	\$ 50.490,00	\$ 49.624,49
Mes 8	\$ -865,51	\$ 50.490,00	\$ 49.624,49
Mes 9	\$ -865,51	\$ 50.490,00	\$ 49.624,49
Mes 10	\$ -865,51	\$ 50.490,00	\$ 49.624,49

Es un numero positivo, se está creando valor neto

Fuente: Mendoza(2022).

Tabla 14: Tasa interna de retorno

Tasa interna de retorno

Inversion del Proyecto: \$ 8.655,10
 inversion en 10 meses: \$ 865,65
 Ingresos mensuales: \$ 50.490,00

tir: 573%

Mes	Egresos	Ingresos	FCL
Mes 1	\$ -8.655,10		\$ -8.655,10
mes 2	\$ -865,51	\$ 50.490,00	\$ 49.624,49
mes 3	\$ -865,51	\$ 50.490,00	\$ 49.624,49
mes 4	\$ -865,51	\$ 50.490,00	\$ 49.624,49

mes 5	\$ -865,51	\$ 50.490,00	\$ 49.624,49
mes 6	\$ -865,51	\$ 50.490,00	\$ 49.624,49
mes 7	\$ -865,51	\$ 50.490,00	\$ 49.624,49
mes 8	\$ -865,51	\$ 50.490,00	\$ 49.624,49
mes 9	\$ -865,51	\$ 50.490,00	\$ 49.624,49
mes 10	\$ -865,51	\$ 50.490,00	\$ 49.624,49

Fuente: Mendoza(2022).

Al ser la tasa interna de retorno mayor que la tasa de descuento, se puede decir que el proyecto es mas beneficioso que el estimado mínimo de la empresa.

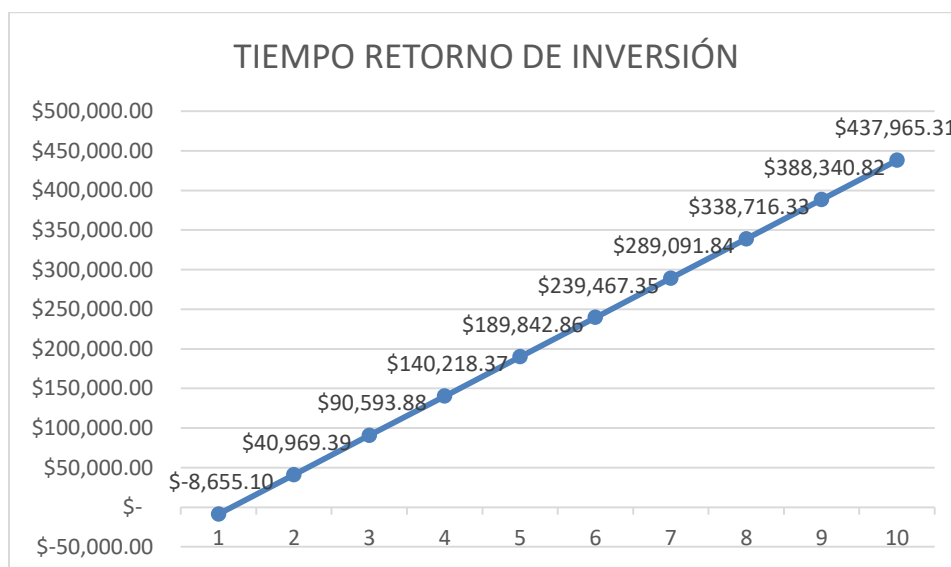
Tabla 15: Punto de equilibrio

Inversion del Proyecto:	\$ 8.655,10
inversion en 10 meses:	\$ 865,65
Ingresos mensuales:	\$ 50.490,00

Mes	Egresos	Ingresos	Acumulado
Mes 1	\$ -8.655,10		\$ -8.655,10
mes 2	\$ -865,51	\$ 50.490,00	\$ 40.969,39
mes 3	\$ -865,51	\$ 50.490,00	\$ 90.593,88
mes 4	\$ -865,51	\$ 50.490,00	\$ 140.218,37
mes 5	\$ -865,51	\$ 50.490,00	\$ 189.842,86
mes 6	\$ -865,51	\$ 50.490,00	\$ 239.467,35
mes 7	\$ -865,51	\$ 50.490,00	\$ 289.091,84
mes 8	\$ -865,51	\$ 50.490,00	\$ 338.716,33
mes 9	\$ -865,51	\$ 50.490,00	\$ 388.340,82
mes 10	\$ -865,51	\$ 50.490,00	\$ 437.965,31

Fuente: Mendoza 2022

Figura 65: Tiempo retorno inversión



Fuente: Mendoza 2022

En este gráfico puede apreciar que, al segundo mes de haberse implementado el proyecto, ya es posible recuperar la inversión.

Por lo anterior, se establece que el desarrollo de la automatización del Sistema de operaciones de la sala de compresores de la empresa acumuladores Duncan C.A. es económicamente factible, ya que posee un valor neto de inversión creciente, su retorno de inversión es de un 573% y en su segundo mes, ha podido recuperar la inversión realizada. Demostrando lo beneficiosa de la propuesta en comparación a la inversión que la empresa tendría en función de implementar otro tipo de sistema que pudiese obtener el mismo resultado o realizar un funcionamiento semejante. Por otro lado, las consecuencias de no realizar ninguna inversión y trabajar con el sistema actual representaría enfrentarse frecuentemente a las fallas ya descritas en el proceso.

4.6.2 Factibilidad operativa

La viabilidad operativa de este trabajo de grado, consiste en la propuesta de automatización del sistema de control de la sala de compresores de la empresa Acumuladores Duncan C.A el cual mejora la calidad y control del producto terminado y disminuye el tiempo en el que se corrigen las fallas por déficit de presión.

El trabajo de grado cumple con la viabilidad operativa, ya que habrá mayor seguridad para el operario del sistema siendo este completamente automatizado.

4.6.3 Factibilidad técnica

Mediante esta factibilidad se establece si el sistema propuesto puede desarrollarse con los recursos técnicos con que cuenta el equipo de desarrollo; esto se hace considerando la disponibilidad de los recursos existentes en términos de hardware, software y recurso humano, o sea la existencia de la tecnología y el conocimiento necesario para establecer que sea factible técnicamente el desarrollo del proyecto

La factibilidad técnica consiste en el funcionamiento del sistema, proyecto o idea, atendiendo a sus características tecnológicas y a las leyes de la naturaleza involucradas. En el presente trabajo de diseño de un control en las operaciones en la sala de compresores para el proceso de automatización es viable ya que consta de un con PLC

Compac Logix L85E y el sistema queda completamente automatizado, por lo que este es mucho más óptimo y eficiente del actual para cualquier empresa que lo solicite.

4.6.3.1 Sistema operativo

Este elemento es de los más importantes ya que debe cumplir con las características de estabilidad, administración, velocidad, facilidad de uso, seguridad, multiusuario y escalabilidad para soportar la instalación del sistema informático y a la vez brindar velocidad de conexión a las bases de datos y seguridad a los usuarios.

Se presentan a continuación diferentes sistemas operativos que cumplen con las características necesarias e indispensables para el buen funcionamiento del sistema propuesto

- Studio 5000
- Factory talk view
- Factory talk view linx

4.6.3.2 Características del Hardware Disponible para el Desarrollo

Las características de los equipos de cómputo con que se dispone actualmente para el desarrollo del sistema informático, se muestran a continuación:

- Laptop HP laptop 15-ef2xxx, 8GB Ram, disco duro de 200GB de almacenamiento. 64 bits. Windows 11 Home.

Con lo anterior podemos decir que el equipo de desarrollo cuenta con las tecnologías lo suficientemente robustas y maduras para desarrollar y soportar la aplicación, además todas están disponibles para realizar el proyecto.

4.6.3.3 Experiencia y Conocimiento del Equipo de Desarrollo

El Recurso Humano, experiencia y conocimientos del equipo de desarrollo se especifican a continuación:

- Recursos Humanos: ingeniero electrónico, técnico electricista, ayudantes.
- Experiencia: administración de proyectos informáticos, instalaciones eléctricas de al y bajo voltaje, desarrollos de sistemas, programación en lenguaje Ladder, trabajo en equipo.
- Conocimientos: lenguaje de programación en lenguaje Ladder en el software Studio 5000 y Factory talk view, instalaciones eléctricas de PLC y HAMI.

En lo anterior se detalla el recurso humano del que se dispone para el desarrollo del proyecto, el ingeniero electrónico como guía en cada una de las etapas en que está dividido el proyecto y en la programación y diseño del PLC y el HMI, el electricista que se encargara de las instalaciones eléctricas y la supervisión en conjunto del ingeniero, sugerencias y opiniones que faciliten el continuo avance en el proyecto y los dos ayudantes integrantes del grupo de trabajo, además se detalla la experiencia que debe poseer cada uno de los miembros del recurso humano y los conocimientos para el desarrollo del proyecto.

Por lo anterior podemos decir que se dispone de recurso humano calificado e idóneo técnicamente, capaz de llevar a buen fin el proyecto, también poseen el conocimiento y las capacidades necesarias para cumplir con los requisitos y concluir con éxito dicho proyecto.

4.6.3.4 Conclusión de Factibilidad Técnica

Se cuenta con el equipo necesario para el desarrollo del sistema tanto en hardware como en software, así mismo el equipo de desarrollo está capacitado ya que poseen los conocimientos y experiencia necesarios para que el desarrollo de cada una de las etapas que se realice de manera satisfactoria, brindando los resultados esperados. Por lo cual se concluye que el desarrollo de la propuesta de automatización del sistema operaciones en la sala de compresores de la empresa Acumuladores Duncan C.A. es técnicamente factible.

CONCLUSIONES

A continuación, se presentan las conclusiones más resaltantes del estudio realizado, así como las recomendaciones para futuras investigaciones, con el propósito de avanzar en el diseño de un sistema de automatizado del sistema de operaciones control de temperatura para hornos industriales de resistencia.

En el desarrollo de este trabajo de grado se aplicaron los conocimientos adquiridos en la carrera de Ingeniería Electrónica mención control y automatización, siendo esta carrera unos de los pilares más importantes en el campo industrial.

- El trabajo de grado realizado, cumple con el objetivo principal planteado, el cual es desarrollar una propuesta de automatización de las operaciones de la sala de compresores de la empresa Acumuladores Duncan C.A.
- El sistema planteado en este proyecto de investigación ofrece un sistema más eficiente para realizar las operaciones de la sala de compresores, para mejorar el proceso productivo con un control que permite el arranque en secuencia y alternancia de los compresores a través de un PLC Compaclogix L35E.
- Se utilizó un HMI que cumple con las necesidades del proyecto desarrollado, gracias a los diferentes dispositivos que conforman el mismo.

RECOMENDACIONES

- La principal recomendación es la implementación del sistema propuesto en el presente trabajo de investigación, ya que con esto mejorar el funcionamiento de la sala de compresores de la empresa Acumuladores Duncan C.A.
- Corregir todas las fugas de aire que existentes en las tuberías.
- Se recomienda instalar un depósito de aire comprimido para el área de acabado final e inyección de plástico, las cuales son las más afectadas por las caídas de presión.
- Realizar planos actualizados de las tuberías existentes en planta.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arias, F. (2006). *El proyecto de investigación. Introducción a la metodología científica*. Caracas: Episteme.
- Barrera, G. (2018) **Diseño de un Sistema de aire comprimido para la Empresa MONCAR de Santa Clara** [trabajo de Diploma en línea], Trabajo de Diplomado, la Universidad Central Marta Abreu de las Villas, Cuba. <https://dspace.uclv.edu.cu/handle/123456789/9954>
- Binetti, G. (2019) *Propuesta de automatización para el sistema de tapado de los envases de tempera y pintura al frio en una empresa química*, [repositorio de la UJAP], Trabajo de grado para optar por el título de ingeniero electrónico, Universidad José Antonio Páez, San diego, estado Carabobo. Consultada 26 de junio de 2022.
- Boge. (2014). **Guide book compressed air**. Obtenido de <http://www.drucklufttechnik.de/english/>
- Bryman, A. (2004) **Métodos de investigación social**. 2a edición, Oxford University Press, Nueva York, 592.
- Bonilla, J. (noviembre 2014) *Diseño de la red principal de aire comprimido de la planta CEMEX, Colorado, Costa Rica*. [tesis en línea] Informe de práctica profesional para optar por el título de Ingeniería en Mantenimiento Industrial, grado Licenciatura, Tecnológico de costa rica, consultada el 03 de julio de 2022 en: <https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/5813/dise%C3%B1o-red-aire-comprimido.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Compressed air manual**. (2022). Wilrijk: Atlas Copco.
- Garro Zavaleta, A. (2014). **Aire Comprimido**. Cartago, Costa Rica.
- Ghandi, M (27 de noviembre 2021) Auticom, *¿Qué es un sistema de control?* [Revista en línea] Consultado el 07 de julio de 2022 en: <https://www.autycom.com/que-es-un-sistema-de-control/>

- Guirao, A. (12 enero 2021) *LA PRESIÓN DEL AIRE*, [Revista en línea] Ciudad: Murcia consultada el 05 de julio en: <https://www.um.es/phi/aguirao/EntreParticulas/PDF/2021%20ene12.pdf>
- Hernández Sampieri R.; Fernández Collado, C.; y Baptista Lucio, P. (1991). **Metodología de la investigación**. Colombia: McGraw-Hill.
- Hurtado, J. (2008). **El proyecto de investigación. Metodología de la Investigación Holística**. Caracas: Ediciones Quirón-Sypal 4 Edición.
- Ingersoll rand (2022) *Brochure Ingersoll Rand*, [Catalogo en línea] Lima, Peru: Autor consultada el 05 de julio de 2022 en: <https://la-llave.com/pe/wp-content/uploads/2018/05/LLP-Brochure-Ingersoll-Rand.pdf>
- Link Compresores. (1 de octubre, 2019) *¿Qué es y cómo funciona un compresor de aire industrial?* <https://www.linkcompresores.com.co/que-es-y-como-funciona-uncompresordeaireindustrial/#:~:text=Los%20compresores%20de%20aire%20industriales%20son%20herramientas%20que%20pertenecen%20al,distintos%20tipos%20de%20compresores%20industriales>[Ultimo Acceso: Julio 03,2022]
- MS Ingeniería (2018) Capacitación y Normativas, **FUNDAMENTOS DE TEMPERATURA**. [Revista o en línea]Consultado el 07 de julio de 2022 en: [https://www.ms-ingenieria.com.mx/capacitacion-y-normativas/fundamentos-de-temperatura/#:~:text=La%20temperatura%20mide%20en%20cierta,las%20mo1%C3%A9culas\)%20de%20un%20objeto](https://www.ms-ingenieria.com.mx/capacitacion-y-normativas/fundamentos-de-temperatura/#:~:text=La%20temperatura%20mide%20en%20cierta,las%20mo1%C3%A9culas)%20de%20un%20objeto)
- Norma venezolana (2002) Norma COVENIN 0541:2022, **Alambres y cables aislados para distribución de energía eléctrica hasta 2000 v y cables de control**, [Normativa en línea] Consultado el 07 de julio de 2022 en: <http://www.arquitectosrp.com/archivo/download/COVENIN%2005412002%20Alambres%20y%20Cables%20aislados.pdf>
- Norma venezolana (1998) Norma COVENIN 1811:1998, **Tableros eléctricos de media y baja tensión. Documentación técnica**, [Normativa en línea]

Consultado el 07 de julio de 2022 en:
<http://www.arquitectosrp.com/archivo/download/COVENIN%2005412002%20Alambres%20y%20Cables%20aislados.pdf>

Parker. (2012). **High quality compressed air**. Dominck Hunter.

Procil, M, (2020), *Diseño e Implementación de un Sistema de monitoreo energético para red de aire comprimido en una planta industrial*, [trabajo de grado en línea] Trabajo de grado para optar por el título de ingeniero electrónico, Universidad Tecnológica de Perú, Lima, Perú.
<https://repositorio.utp.edu.pe/handle/20.500.12867/3771>

Reyes, M (2021) *Propuesta de diseño de un sistema de control de temperatura para un horno industrial de resistencias*, [repositorio de la UJAP], Trabajo de grado para optar por el título de ingeniero electrónico, Universidad José Antonio Páez, San diego, estado Carabobo. Consultado el 07 de julio de 2022

Sabino, C. (1992). **EL PROCESO DE INVESTIGACIÓN**. Caracas: Panapo.

Universitario Politécnico "Santiago Mariño". (2006). Manual de Trabajo Especial de Grado. Caracas

Sicma21 (14 de octubre 2021) *¿Qué es un PLC y cuándo se usa?* (Autor) [Revista en línea] Consultado el 07 de julio de 2022 en:
<https://www.sicma21.com/que-es-un-plc/>

Sierra (1999). **Técnicas de Investigación Social**. 9na Edición. Editorial: Paradinfo.

Tobón, S. (2014a). **Proyectos formativos, Teoría y metodología** (Primera ed.). México, México: Pearson.

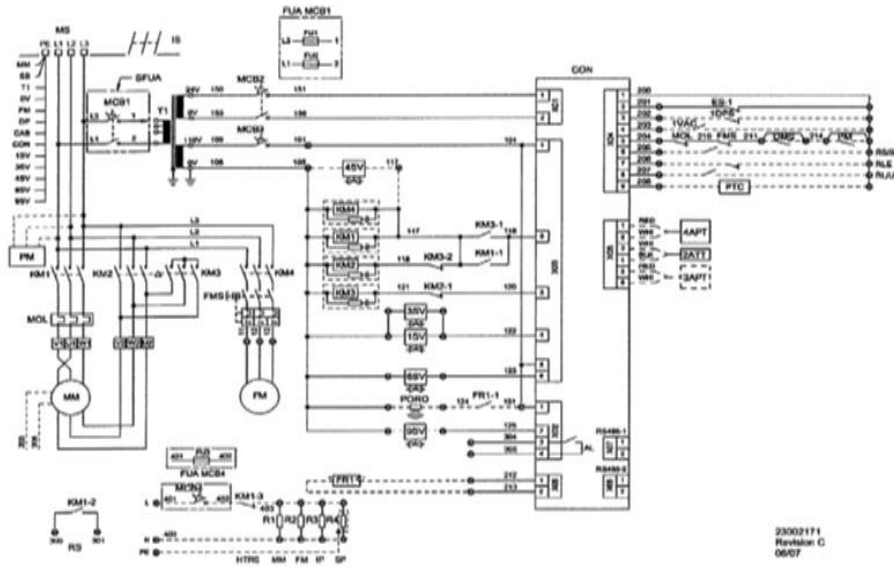
Universidad Jose Antonio Paez (2020). **Manual para la Elaboración y Presentación de los Anteproyectos, Proyectos de Grado, Trabajo de Grado, Tesis Doctoral e Informe de Pasantía y Extramuros**. Valencia.

UPEL. (2003). **Manual de Trabajo de Grado, de Especialización Maestría y tesis Doctorales**. Caracas: FEDUPEL.

ANEXOS

Anexo 1 Diagrama Compresor

Star Delta Wiring Diagram



23002171
Revision C
06/07

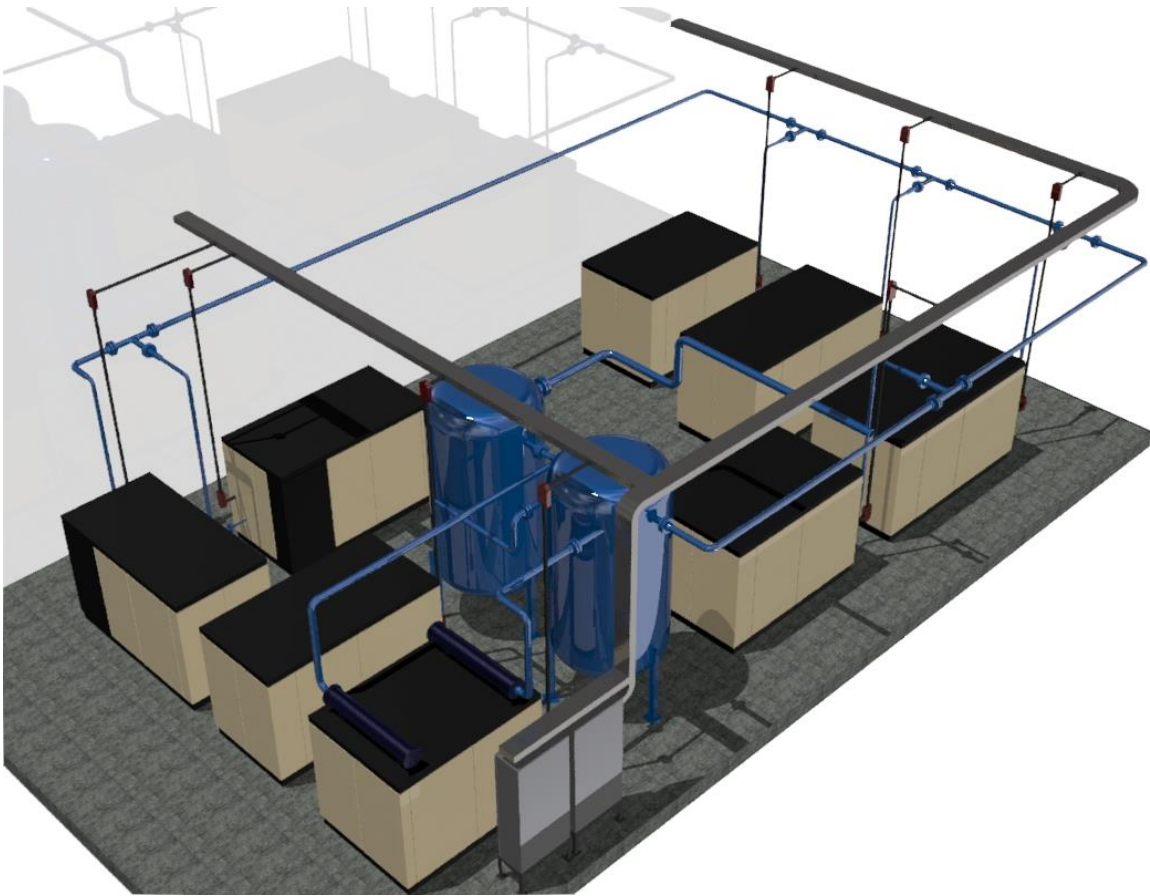
KEY

0V	Zero voltage	KM3	Star contactor
18V	Load valve	KM4	Fan contactor
1DPS	Switch, oil filter condition	MCB	Circuit breakers
1VAC	Switch, inlet filter condition	MM	Motor, main
2ATT	Airend discharge temperature	MOL	Main motor overload relay
3APT	Sump pressure	MS	Mains supply, ensure correct phase rotation
35V	Blowdown valve	PE	Protected earth
4APT	Package discharge pressure	PM	Phase monitor
45V	Valve, water stop	PORO	Power outage restart option (optional)
68V	Modulation valve	PTC	Motor winding thermistor
99V	Valve, condensate drain	RLE	Remote load enable
AL	Alarm	RLU	Remote load/unload
CAB	Cabinet	RS	Running signal
CON	Controller	RS/S	Remote start/stop
ES	Emergency stop	SB	Emergency stop
FM	Fan motor	SFUA	See fuse alternative
FMS	Fan motor overload relay	SP	Starter panel
FRI	Poro solid state relay	T1	Transformer, control
FUA	Fuse alternative		
HTRS	Heaters		
IP	Inst. panel		
IS	Isolator if fitted		
KM1	Main contactor		
KM2	Delta contactor		

Anexo 2 PLANO 3D de Sala de Compressores vista lateral



Anexo 3 PLANO 3D de Sala de Compressores



Anexo 4 Salario colegio de ingenieros



COLEGIO DE INGENIEROS DE VENEZUELA

TABULADOR DE SUELDOS Y SALARIOS MINIMOS PARA LOS PROFESIONALES DEL CIV

Aprobado por la Junta Directiva Nacional CIV.
a partir del mes de agosto 2022 y el cual determina el salario mínimo neto, de acuerdo al Nivel Profesional y donde no se incluyen los beneficios de Ley, ni los contractuales u otros.

Experiencia Profesional (Años)	Nivel Profesional (*)	Factor de Experiencia (*)	Sueldo Mínimo Bs.D/mes
0 a 1	P1	1.35	3.763,00 Bs
1 a 2	P1	1.48	4.125,00 Bs
2 a 3	P2	1.61	4.488,00 Bs
3 a 4	P2	1.74	4.850,00 Bs
4 a 5	P2	1.87	5.213,00 Bs
5 a 6	P3	2.00	5.575,00 Bs
6 a 7	P3	2.12	5.910,00 Bs
7 a 8	P4	2.25	6.272,00 Bs
8 a 9	P4	2.38	6.634,00 Bs
9 a 10	P5	2.51	6.997,00 Bs
10 a 11	P5	2.64	7.359,00 Bs
11 a 12	P6	2.77	7.722,00 Bs
12 a 13	P6	2.90	8.084,00 Bs
13 a 14	P7	3.03	8.446,00 Bs
14 a 15	P7	3.16	8.809,00 Bs
15 a 16	P8	3.29	9.171,00 Bs
16 a 17	P8	3.41	9.506,00 Bs
17 a 18	P8	3.54	9.868,00 Bs
18 a 19	P9	3.67	10.231,00 Bs
19 a 20	P9	3.80	10.593,00 Bs
20 a 21	P9-A	3.93	10.955,00 Bs
21 a 22	P9-A	4.06	11.318,00 Bs
22 a 23	P9-A	4.19	11.680,00 Bs
23 a 24	P9-A	4.32	12.043,00 Bs
24 a 25	P9-A	4.45	12.405,00 Bs
25 a 26	P10	4.58	12.768,00 Bs
26 a 27	P10	4.70	13.102,00 Bs
27 a 28	P10	4.83	13.464,00 Bs
28 a 29	P10	4.96	13.827,00 Bs
29 a 30	P10	5.09	14.189,00 Bs
más de 30	P10	5.22	14.552,00 Bs

(*) Escala del Manual de Contratación del Colegio de Ingenieros de Venezuela.

Se exhorta a los Miembros Activos del CIV, Los Organismos Públicos y Privados, a darle fiel cumplimiento a la presente Resolución.

(**) Tasa referencial del BCV en la fecha 03 de agosto 2022 5,79 Bs.D.

Ing. Enzo Betancourt M. Presidente
Ing. Danibel Avila Secretaria (a)

Colegio de Ingenieros de Venezuela, Urbanización Los Caobos, Parroquia El Recreo.
Proyecto Pensa en Venezuela. (0212)571.63.75