

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción**

Rediseño de un sistema de aire comprimido en una planta de alimentos

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero Mecánico

Presentado por:

Haward Víctor Chalén Aspiazu
Javier Andrés Pólit Bravo

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2021

DEDICATORIA

A mi progenitora que me formó para destacar y me introdujo el amor por el conocimiento. A mi padre que siempre me dio un ejemplo impecable de como un hombre debe ser. A mi hermano que cubre mis falencias y me motiva a ser mejor. A mi amor que me acompañó en este viaje por los senderos de la ESPOL.

- Haward Víctor Chalén Aspiazu

DEDICATORIA

Quisiera aprovechar este espacio para dedicarle este trabajo a mis compañeros de clases, con los cuales he disfrutado y sufrido muchos momentos durante este trayecto; a mis amigos que me brindaron su apoyo en todo momento, a quienes tuve la dicha de conocer y compartir historias dentro como fuera de la universidad llevándome lo mejor de cada uno de ellos. Pero quisiera principalmente dedicarle esto a mi papá y mi mamá quienes han sido pilares fundamentales logrando que siempre mire hacia adelante incluso en momentos que quise flaquear, todo este esfuerzo es para que se sientan orgullosos de que todo lo que soy y pueda llegar a ser es gracias a ellos.

- Javier Andrés Pólit Bravo

AGRADECIMIENTO

Gracias al PhD. Christian Tutiven por acompañarnos en este proyecto junto con particularmente mi mentor en el mundo laboral, Ing. Pablo Orozco, por hacer este trabajo posible y guiarnos hasta completarlo. Agradezco también a la Escuela Superior Politécnica del Litoral por formarme como Ingeniero, y a la vida por el tiempo que pasé en la universidad y las amistades que obtuve, de las cuales destaco a mi futura colega Verónica Illescas. Por último, a mi compañero Javier Polit sin el cual este proyecto hubiera quedado a medias.

- Haward Víctor Chalén Aspiazu

AGRADECIMIENTO

Quisiera agradecer a mis profesores de la ESPOL que me han tenido paciencia y han compartido sus conocimientos de la mejor forma posible, al PhD. Christian Tutiven por guiarnos a lo largo del proyecto, quisiera agradecer a mis compañeros con los cuales siempre hemos estado ahí para apoyarnos; pero en especial quiero darle las gracias a mi compañero de tesis Haward Chalén a quien tuve el gusto de conocer, por todo su esfuerzo para culminar este trabajo y poder graduarnos juntos.

- Javier Andrés Pólit Bravo

DECLARACIÓN EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; *Javier Andrés Pólit Bravo* y *Haward Víctor Chalén Aspiazu* y damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”

Javier Pólit B.
Javier Andrés Pólit
Bravo

Haward Chalén A.
Haward Víctor Chalén
Aspiazu

EVALUADORES

.....
PhD. Miguel Quilambaqui

PROFESOR DE LA MATERIA

.....
PhD. Christian Tutiven

PROFESOR TUTOR

RESUMEN

Los tiempos cambian y la ingeniería cambia con él. Basados en esta premisa, este proyecto buscó optimizar, para una empresa alimenticia, la eficiencia de la red de aire comprimido que tenía una configuración de anillo poco eficiente por lo que se la modifico y además se propuso un sistema de válvulas automatizadas que bloquearan el flujo hacia los ramales cuando las máquinas no estén activas. Finalmente se debió rediseñar la disposición de los puntos de consumo. Con esto se espera ver reflejado un ahorro de energía considerable por menor demanda de volumen y anulación de perdidas por fugas. Se realizó un levantamiento del actual sistema de aire comprimido y se analizaron las características ineficientes de la red por lo que se propuso como una de las soluciones cerrar completamente el anillo y seccionar los ramales horizontales de manera que alimenten cada una de las líneas de producción de manera independiente. Se realizó una simulación con el software Pipe Flow Expert y se obtuvo una disminución de la carga volumétrica del 5% creando un ahorro de \$120 semanales. Tomando en cuenta los resultados obtenidos consideramos que existe lugar a la mejora energética de la red de aire comprimido de esta planta alimenticia y el proyecto implementado se considera una inversión rentable.

Palabras clave: rediseño, aire comprimido, tuberías, volumen, automatización

ABSTRACT

Times change and engineering changes with it. Based on this premise, this project sought to optimize, for a food company, the efficiency of the compressed air network that had an inefficient ring configuration so it was modified and also proposed a system of automated valves that block the flow to the branches when the machines are not active. Finally, the layout of the consumption points had to be redesigned. This is expected to result in considerable energy savings due to lower volume demand and elimination of leakage losses. A survey of the current compressed air system was carried out and the inefficient characteristics of the network were analyzed, so it was proposed as one of the solutions to completely close the ring and section the horizontal branches so that they feed each of the production lines independently. A simulation was carried out with the pipe Flow expert software and a 5% decrease in the volumetric load was obtained, creating a weekly saving of \$120. Taking into account the results obtained, we consider that there is room for energy improvement in the compressed air network of this food plant and the implemented project is considered a profitable investment.

Key words: redesign, compressed air, piping, volume, automation.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	I
ABSTRACT	II
ÍNDICE GENERAL	III
ABREVIATURAS.....	V
SIMBOLOGÍA	VI
ÍNDICE DE FIGURAS	VII
ÍNDICE DE TABLAS.....	VIII
CAPÍTULO 1.....	1
1. Introducción	1
1.1 Antecedentes	1
1.2 Descripción del problema.....	1
1.3 Justificación.....	2
1.4 Objetivos	2
1.4.1 Objetivo General.....	2
1.4.2 Objetivos Específicos.....	3
1.5 Marco teórico.....	3
1.5.1 Diseño de tuberías de aire comprimido	3
1.5.2 Dimensionamiento y funcionamiento	5
1.5.3 Automatización industrial	6
1.5.4 Neumática de equipos	10
CAPÍTULO 2.....	13
2. Metodología	13
2.1 Requerimientos de diseño.....	14
2.2 Matrices de decisión.....	14
2.3 Diseño de forma	17
2.4 Automatización de válvulas electromecánicas	18

CAPÍTULO 3.....	20
3. Resultados Y ANÁLISIS	20
3.1 Análisis de resultados.....	25
CAPÍTULO 4.....	28
4. Conclusiones Y Recomendaciones	28
4.1 Conclusiones.....	29
4.2 Recomendaciones.....	30
BIBLIOGRAFÍA	
APÉNDICES	

ABREVIATURAS

PLC	Programador Logístico Controlable
DCS	Sistema de Control Distribuido
PAC	Controlador de Automatización Programable
CPU	Unidad Central de Proceso
TIR	Tasa Interna de Retorno
VAN	Valor Actual Neto

SIMBOLOGÍA

J	Joules
Had	Carga adiabática
W	Flujo
Lb	Libras
Min	Minutos
η_{ad}	Eficiencia adiabática
HPg(ad)	Potencia adiabática en caballos de fuerza
- -	Contactos normalmente abiertos
- / -	Contactos normalmente cerrados
o	Bobinas

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Configuración de anillo	4
Figura 1.2 Configuración de árbol	4
Figura 1.3 Distribución de compresores según los requerimientos del proceso.....	5
Figura 1.4 Modelo de PLC.....	8
Figura 1.5 Válvula electromecánica.....	9
Figura 1.6 Desmoldeadora	11
Figura 1.7 Stacker de planta alimenticia.....	12
Figura 2.1 Diagrama de flujo de metodología del proyecto	13
Figura 2.2 Sistema de red de aire comprimido	18
Figura 2.3 Diagrama de bloques de PLC para la línea de apanadura.....	19
Figura 3.1 Gráfico de consumo vs costo	21
Figura 3.2 Simulación del sistema de aire comprimido en Pipe Flow Expert.	22
Figura 3.3 PLC representativo del proyecto	22

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Matriz de decisión del rediseño de red de aire comprimido.....	15
Tabla 2.2 Matriz de decisión del sistema de automatización de válvulas.....	15
Tabla 2.3 Matriz de decisión de válvulas electromecánicas	16
Tabla 3.1 Resultados de consumo y costo energético de la compañía.....	20
Tabla 3.2 Materiales e inversión del proyecto	23
Tabla 3.3 Resultados del proyecto	24
Tabla 3.4 Flujo de caja, TIR y VAN del proyecto	24

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

La planta de la empresa donde se ejecuta el proyecto se encuentra ubicada en la avenida perimetral de la ciudad de Guayaquil. Se encarga de la fabricación, empaque y distribución de pan a través de todo el país (Orozco, 2021).

La empresa alimenticia fue fundada en 1946, para luego ser adquirida por una multinacional mexicana en el año 2014. Poseen una alta variedad de productos y marcas entre su gama de oferta tanto a nivel local como internacional (Orozco, 2021). La red actual de aire comprimido consta con una configuración de tipo anillo desde sus inicios; sin embargo, sus componentes han sido modificados a la par con la expansión de la planta como, por ejemplo, ramificaciones tipo árbol para ciertos equipos anexados a las líneas de producción. El último estudio registrado se realizó para la reubicación del cuarto de compresores, junto con la compra de nuevos equipos que se adaptan al requerimiento de la expansión constante que maneja la planta (Orozco, 2021).

Actualmente, la red de aire comprimido cuenta con válvulas manuales de tipo bola ubicadas en puntos estratégicos, los cuales sirven para realizar mantenimientos o cortes de aire por emergencia.

1.2 Descripción del problema.

La demanda de aire comprimido dentro de una planta alimenticia con varias líneas de producción varía en función de los horarios de trabajo de cada una, provocando que exista un exceso injustificado de carga sobre los compresores, lo que ocasiona un funcionamiento ineficiente en la red puesto que existen caídas de presión durante ciertos tramos de la tubería, especialmente en la ramificación que no se encuentra totalmente cerrada; además de las pérdidas del fluido por fugas a través de los equipos provoca altos costos mensuales por consumo energético (Orozco, 2021).

Se espera aplicar conocimientos adquiridos en Fluidos para determinar la carga total de aire que demanda la empresa, asimismo, se aplicarán conocimientos de Diseño de Sistemas Termofluidos para el modelado del sistema funcional.

La resolución del proyecto se orienta hacia el aspecto económico puesto que aumentará la eficiencia de trabajo y ahorro energético en los equipos dentro de las líneas de producción, además el proyecto se orienta a la seguridad de los trabajadores puesto que el sistema de válvulas será totalmente automático al finalizar el proyecto, reduciendo así el error humano que puede provocar una mala práctica de los operadores.

1.3 Justificación

Este proyecto trae consigo una gran oportunidad de mejora dentro de la empresa, gracias a que mediante el uso de válvulas electromecánicas optimizará el sistema de aire comprimido, abasteciendo a los equipos con la cantidad necesaria requerida sin ocasionar desperdicios de materia prima, cumpliendo así con el objetivo 12 de desarrollo sostenible: Producción y consumo responsables que establece lo siguiente: “Para lograr crecimiento económico y desarrollo sostenible, es urgente reducir la huella ecológica mediante un cambio en los métodos de producción y consumo de bienes y recursos” (PNUD, 2018).

Por otro lado, el diseño de tuberías permitirá la ampliación de líneas de producción de la planta sin afectar el rendimiento del sistema de aire comprimido de la misma, puesto que se cubrirá la demanda futura, disminuyendo así costos de inversión por la expansión gracias a que no existe la necesidad de aumento de tuberías o incluir nuevos compresores para abastecer de aire comprimido a los equipos; por ende, existe un ahorro energético y económico considerable en la realización de este proyecto.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Rediseñar un sistema de aire comprimido dentro de una planta alimenticia, mediante el uso de válvulas electromecánicas.

1.4.2 Objetivos Específicos

1. Modelado del sistema de aire comprimido de la empresa en Pipe Flow Expert.
2. Realizar el código del funcionamiento de las válvulas electromecánicas en un software de automatización industrial amigable con los compresores Allen-Bradley de la planta, Studio 5000.
3. Calcular la carga requerida de los equipos por líneas de producción para el diseño del cuarto de compresores.

1.5 Marco teórico

1.5.1 Diseño de tuberías de aire comprimido

De las dos configuraciones existentes para redes de aire comprimido denotamos la de anillo o cerrada y la de árbol o ramificada. Mientras más lejos este un punto de consumo del cuarto de compresores mayor será la caída de presión por lo que se forzaría los equipos. En el caso de la configuración de árbol es un perfecto ejemplo de esto ya que el aire llega a los puntos de consumo en una sola dirección como se muestra en la figura 1 lo que representa la distancia lineal que recorre el aire para llegar al punto de consumo, preferencialmente la distancia entre los puntos de consumo y el cuarto de compresores debe ser mínima. La configuración de anillo permite que los puntos de consumo sean alimentados en dos direcciones diferentes lo cual minimiza las caídas de presión y permite que el cuarto de compresores sea ubicado en cualquier parte del anillo de presión.

Claramente la configuración de anillo es más eficiente y superior en todos los sentidos, pero se sigue utilizando el método ramificado ya que resulta más barato de montar, aunque cualquier ahorro se ve anulado con el tiempo ya que un sistema energéticamente ineficiente necesitará aumentar la presión y cada 2 psi que se aumentan el consumo de aumenta en 1% (*Compressed Air & Gas Institute, 2021*).

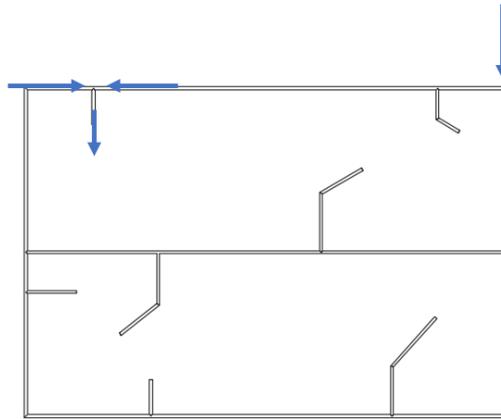


Figura 1.1 Configuración de anillo. [Elaboración Propia]

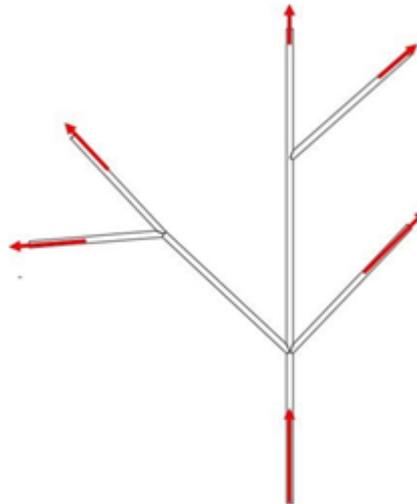


Figura 1.2 Configuración de árbol [Elaboración Propia]

Cualquier tipo de tubería que este elevada o expuesta debe ser correctamente recubierta y con soportería. Es conveniente colocar válvulas de manera estratégica para realizar mantenimientos y poder aislar secciones del sistema. En el caso de los sistemas presurizados es necesaria la ubicación de tanques pulmón en los tramos de tubería para recolectar el condensado. La máxima distancia a la que se debe ubicar un punto de consumo es la mitad de la longitud completa del sistema de tuberías. Los flujos turbulentos aumentan las caídas de presión algo que en los sistemas de anillo no pasa ya que al encontrarse los flujos en dos sentidos distintos disminuyen el requerimiento del flujo volumétrico lo que

disminuye las posibilidades de las caídas de presión súbitas (*Compressed Air & Gas Institute, 2021*).

1.5.2 Dimensionamiento y funcionamiento

La selección correcta del equipo radica en una pregunta clave. ¿Va a ser la planta de procesos continuos o a lotes? Segunda en la jerarquía de importancia nos encontramos con la pregunta ¿Se cuenta con el personal idóneo para el mantenimiento del sistema? Esta última determinará el grado de independencia que tendrá nuestro sistema. En cuanto tengamos estas respuestas claras podemos orientarnos en la selección de un equipo. Para proyectos ingenieriles comerciales se utilizan tablas o graficas como la figura 3 para seleccionar eficientemente sin mayor análisis (*Greene, Abraham, & Nerken, 1984*).

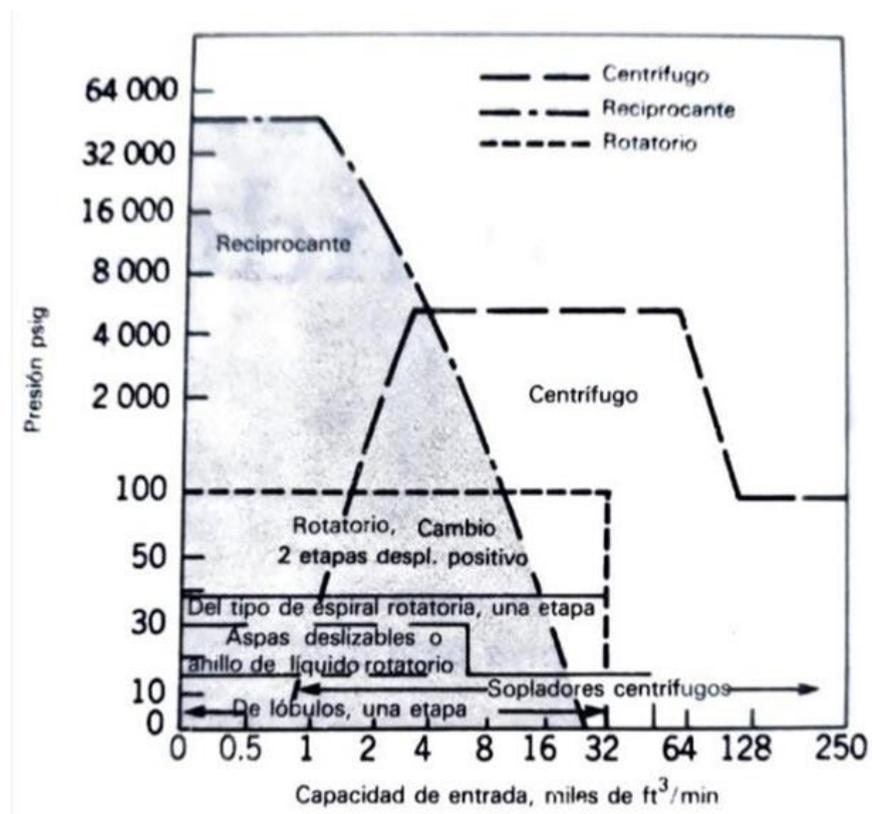


Figura 1.3 Distribución de compresores según los requerimientos del proceso. [Recuperado de la obra COMPRESORES por Robert W. Greene].

En cuanto al dimensionamiento de un compresor lo principal es encontrar la carga y el caballaje.

$$HP_{g(ad)} = \frac{WH_{ad}}{33.000 \eta_{ad}} \quad 1.1$$

Donde:

$HP_{g(ad)}$ es el caballaje adiabático para el gas

W es el flujo en $\left[\frac{lb}{min}\right]$

H_{ad} es la carga adiabática $\left[\frac{ft*lb}{lb}\right]$

η_{ad} es la eficiencia adiabática.

Una vez obtenido el caballaje y la carga nos valemos de las curvas de rendimiento para la selección de un compresor (*Greene, Abraham, & Nerken, 1984*).

1.5.3 Automatización industrial

La automatización industrial, se lo considera como el uso de equipos electromecánicos que junto con un software pasan a realizar el trabajo antes hecho por un operario, mejorando así tiempos de producción, abaratando costos, calidad de producto, y ventaja competitiva ante empresas que en sus líneas de producción siguen llevando el modelo de industrias 3.0 (*Revista de robos, 2021*).

Actualmente, existen diversas formas de automatizar la producción dentro de una empresa, por ejemplo, el sistema DCS o en español conocido como el Sistema de Control Distribuido que posee controladores ubicados de forma estratégica por todo el sistema que requiere automatizarse a diferencia de otros tipos de controladores que funcionan de manera central (*Automática e Instrumentación, 2019*). El PAC o como se lo conoce en español Controlador de Automatización Programable, posee un CPU que es el programador interno, captadores de información e interfaces de salida, se lo utiliza comúnmente para medición de valores analógicos y para sistemas de laboratorio (*Logic Electronics, 2020*).

1.5.3.1 Programador Lógico Controlable

Un PLC o como sus siglas en inglés lo indican es un Programmable Logic Controller, que en español es un controlador lógico programable. Es un equipo electrónico, capaz de funcionar en tiempo real gracias a la información que recibe de sus captadores, los cuales pueden ser sensores, ejecutan de forma secuencial un proceso industrial (*Scheu, 2021*).

Actualmente, son utilizados por la mayoría de industrias que tienen altos ritmos de trabajo, o que se están abriendo camino a la Revolución Industrial 4.0. Su uso es muy amplio, debido a que se adapta a ritmos de producción cambiantes, es de fácil instalación, reduce tiempos de trabajo en líneas complejas, disminuye la cantidad de personal necesario para la realización de la misma tarea, facilita la labor de los operadores, entre otras cosas (*Ramírez, 2021*).

El modelo de trabajo de los PLC se inicia con la elaboración del código de funcionamiento el cual será grabado dentro de la memoria del CPU. El procesador de memoria recibe la información gracias a sensores que funcionan como entrada para que el procesador transforme los datos y los convierta en una señal de salida dependiendo de lo codificado previamente (*Cortez & Landázuri, 2011*). La imagen que se muestra a continuación refleja lo explicado en el párrafo.



Figura 1.4 Modelo de PLC [Elaboración Propia]

1.5.3.2 Actuadores

Los actuadores son dispositivos mecánicos capaces de ejercer fuerza o movimiento a un equipo debido a que recibe un impulso eléctrico, la ventaja de utilizar estos componentes es que son capaces de regularse a sí mismos, de esa forma mejorando sistemas eléctricos o aquellos que requieran una fuerza motriz para continuar la secuencia de una línea de producción (*Genera Creative Group, 2020*).

Existen diferentes tipos de actuadores, pero específicamente en este proyecto se utilizarán actuadores neumáticos, los cuales funcionan con aire comprimido, obteniendo una alta velocidad de respuesta para arrancar o parar los equipos dependiendo de la demanda de producto y de la demanda de los equipos para mantener un rendimiento óptimo durante la jornada laboral.

1.5.3.3 Válvulas electromecánicas

Son elementos conformados por un solenoide que se activa al recibir impulsos electromagnéticos, permitiendo o no el paso de un fluido, de esta forma regulando el caudal que pasará a través de la tubería. Son de mucha utilidad, debido a que gracias a ellas se puede automatizar un proceso mediante el uso de un software que al ejecutar el código permite la

regulación del paso de fluido, con tiempos de respuesta de hasta 1 segundo haciendo que el funcionamiento sea estable y confiable (Maxon, 2011). Funcionan de forma sencilla, primero el solenoide que se puede observar en la parte superior de la figura 5, recibe la carga electromagnética haciendo que se desplace la compuerta para permitir el paso de aire, donde luego de cumplir los requerimientos del equipo pasa a desactivarse gracias a la presencia de un resorte interno haciendo que regrese a su posición original (Refacalderas, 2020).

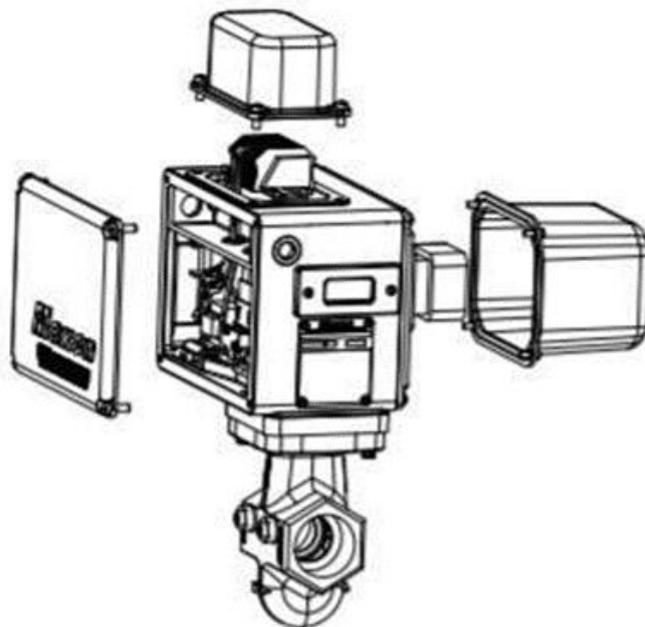


Figura 1.5 Válvula electromecánica [Maxon, 2011]

1.5.3.4 Machine Learning

Se conoce como Machine Learning a una rama de la inteligencia artificial, la cual se encarga de gracias a patrones guardados dentro de una base de datos, predecir o contemplar posibles comportamientos de un proceso en determinados momentos. Esto ayuda a que los equipos no se encuentren en constante programación (Sánchez, 2020).

Existen diferentes formas en que se puede crear la base de datos para conformar los patrones en los cuales los equipos se guiarán para predecir

comportamientos, entre los diferentes métodos se encuentra, el aprendizaje supervisado donde los equipos cuentan previamente con datos guardados facilitando así la creación de patrones, luego está el aprendizaje no supervisado donde los equipos se encuentran en la intemperie captando la información necesaria para la creación de algoritmos que permitan solucionar los problemas a medida que van apareciendo; y finalmente, el aprendizaje por refuerzo es cuando un algoritmo previamente elaborado va aprendiendo conforme adquiere nuevos data (*Sánchez, 2020*).

1.5.4 Neumática de equipos

Se considera a la neumática como el estudio de la manipulación del aire, el pionero de esta práctica fue George Westinghouse en 1868 con la elaboración de un freno de aire. Actualmente, se utiliza en equipos industriales con el fin de obtener un movimiento controlado ya sea de pistones, válvulas, entre otras cosas (*Solé, 2007*). Se está haciendo frecuente el uso de esta práctica en las industrias, puesto que posee muchas ventajas de las cuales se pueden sacar provecho. Entre las cuales se tiene, el bajo costo de mantenimiento es sencillo implementar un sistema neumático en las líneas de producción, posee un alto índice de seguridad debido a que la probabilidad de explosión es nula y por último es capaz de adaptarse a diferentes métodos de trabajo (*Solé, 2007*).

Sin embargo, existen ciertos inconvenientes a considerar en este tipo de sistemas. Por ejemplo, se debe llevar un plan de inspecciones preventivas para mantener el nivel de fugas en la tubería lo mínimo posible, puesto que reduce la eficiencia de trabajo y, por otro lado, el costo de energía es elevado en comparación a otras prácticas (*Solé, 2007*).

Durante la elaboración del proyecto, se utilizarán equipos que funcionan con este tipo de energía, entre los más importantes dentro de la línea de producción se encuentran las desmoldeadoras, stackers y empaquetadoras.

1.5.4.1 Desmoldeadoras

La desmoldeadora en la línea de producción es la encargada de extraer los panes que se encuentran dentro de las latas o moldes, para ser colocados posteriormente en otra banda transportadora. El tipo de desmoldeadora que se encuentra dentro de la planta es de vacío, la cual posee un mecanismo de aire comprimido que provoca un vacío o presión negativa en el equipo, succionando así el pan que luego será llevado a la siguiente estación dentro de la línea (Cortez & Landázuri, 2011).

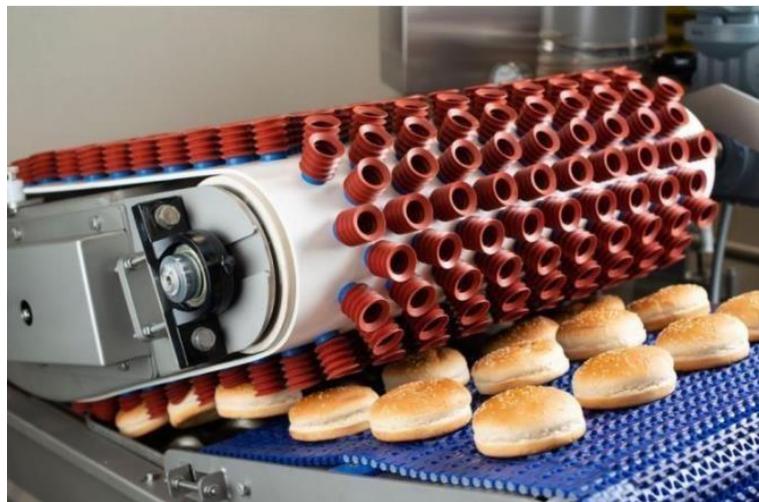


Figura 1.6 Desmoldeadora [COALJFA, 2021]

1.5.4.2 Stackers

Los stackers se conocen como apiladoras, en este caso el equipo funciona con neumática debido a que poseen cilindros que son accionados por la fuerza que ejerce el aire dando como resultado un movimiento en sentido vertical; y con la ayuda de un imán, trasladan la bandeja que contiene el pan para luego desimantarla al momento en que el cilindro se encuentra en su punto más bajo, colocando las bandejas en grupos para luego pasar al área de empaquetado (Orozco, 2021).



Figura 1.7 Stacker de planta alimenticia [Planta alimenticia, 2021]

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA

Se desarrolló el proyecto utilizando una metodología que satisfaga las necesidades que tiene el sistema de aire comprimido de la compañía, tomando en consideración el cumplimiento de los objetivos marcados en la sección 1.4 del documento. Debido a lo mencionado anteriormente, se levantó información de los requerimientos de diseño; junto con los cuales se establecieron diferentes alternativas para la resolución del proyecto, que serán mencionadas a lo largo del capítulo.

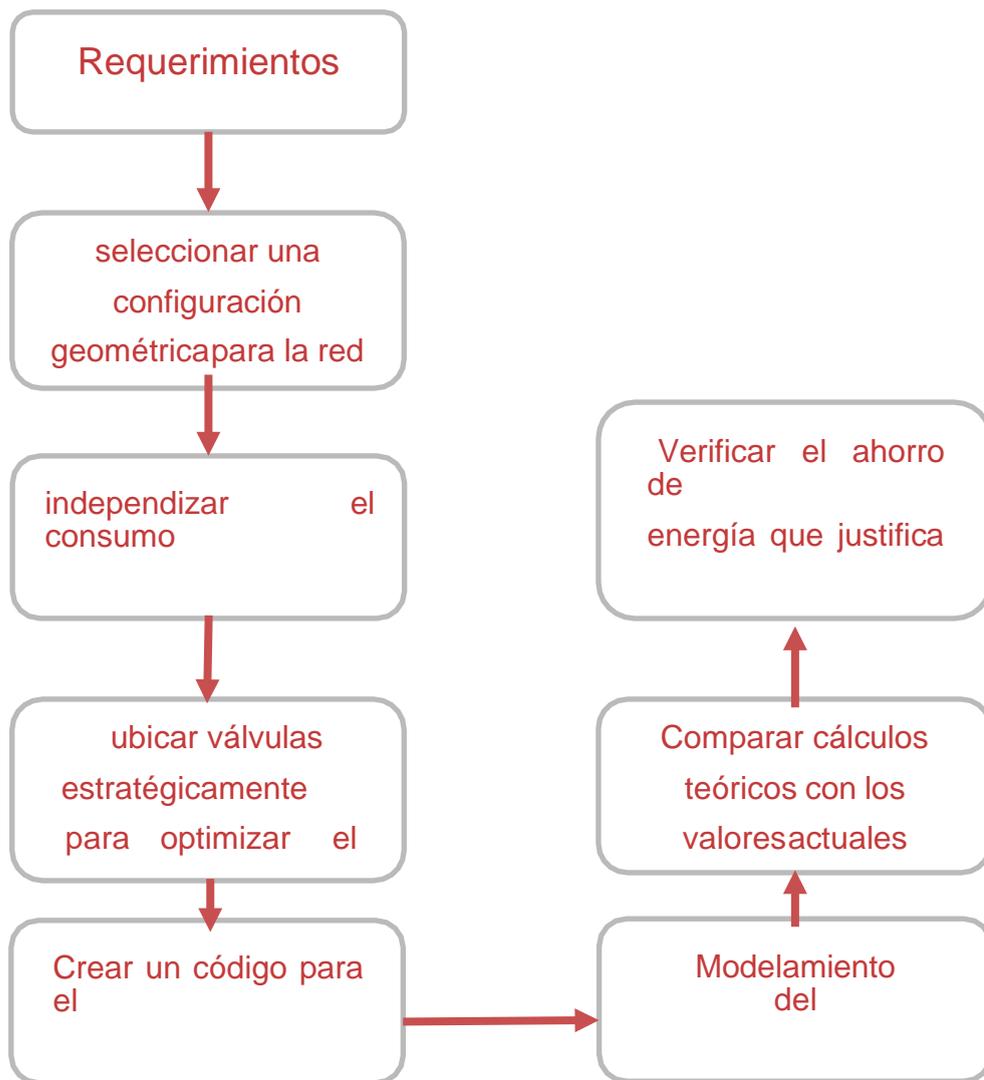


Figura 2.1 Diagrama de flujo de metodología del proyecto. [Elaboración Propia]

La figura 2.1 refleja los pasos a seguir para la culminación del proyecto, se inicia determinando los requerimientos que se necesitan para la elaboración del sistema de aire comprimido, luego se selecciona la configuración geométrica adecuada para cumplir el diseño de un anillo de presión, se independizan las líneas de producción, se automatizan y se colocan las válvulas en los nodos de las líneas de trabajo con el fin de cortar el consumo de aire comprimido a esos equipos; y finalmente, se modela el sistema para obtener la reducción de consumo volumétrico de la red y comprobar si el proyecto es rentable.

2.1 Requerimientos de diseño

En base a una entrevista realizada al encargado de proyectos de la compañía Pablo Orozco Bueno, se establecieron las bases del diseño que debe tener la propuesta de solución a la problemática encontrada dentro de la red de aire comprimido de la planta. Los cuales se mencionan a continuación:

- Robusto; es decir, que soporte las condiciones de producción en las que se encuentra constantemente la planta.
- Flexible; que sea capaz de adaptarse a futuras ampliaciones de líneas de producción de la compañía.
- Eficiente, optimice el flujo de aire comprimido que sale de los compresores dependiendo de la carga necesaria por equipo.
- Seguro, el rediseño de tubería debe seguir la normativa ASME B31.8 que habla específicamente de sistemas generalizados de distribución de gas (*ASME B31.8, 1999*).

2.2 Matrices de decisión

Para las alternativas de solución se consideraron varias opciones en diferentes aspectos como: el diseño del sistema de tubería, el programador a utilizar para la automatización de las válvulas electromecánicas, y finalmente el tipo de válvula electromecánica que se usará en las tuberías.

La tabla 2.1 que se muestra a continuación muestran las diferentes alternativas de solución, correspondiente al diseño de forma que tendrá la red de aire comprimido de la planta alimenticia, una de ellas es cerrar completamente el sistema de tuberías

extendiendo la red completando así el anillo de presión, mientras que la segunda alternativa es mantener el diseño de tuberías actual de la planta.

Tabla 2.1 Matriz de decisión del rediseño de red de aire comprimido. [Elaboración Propia]

	Criterio 1	Criterio 2	Criterio 3	Criterio 4	
	Costo de Inversión	Eficiencia	Flexibilidad	Mantenimiento	
Peso	4	5	3	4	16
Porcentaje	25%	31%	19%	25%	100%
Opciones	Calificación				Total
Anillo de Presión (Actual)	9	7	5	7	7.06
Anillo de Presión (Totalmente cerrado)	7	9	9	7	8

El sistema de diseño de tubería que se escogió finalmente fue la de cerrar completamente el anillo de presión; es decir, el sistema de tuberías. Puesto que, al completarlo, la eficiencia se verá circunstancialmente mejorada puesto que la presión será la misma a lo largo de todo el trayecto de la tubería; además, que el rediseño a pesar de requerir un mayor costo de inversión, será amigable para una futura ampliación de líneas de producción y el costo de mantenimiento no variará mucho en comparación al sistema actual con el que cuenta la planta.

La tabla 2.2 presenta la matriz de decisión con las opciones de controladores para automatizar la red de aire comprimido de la empresa, entre las alternativas de selección se encuentran los sistemas mencionados en la sección 1.5.3 del marco teórico, DCS, PLC y PAC.

Tabla 2.2 Matriz de decisión del sistema de automatización de válvulas. [Elaboración Propia]

	Criterio 1	Criterio 2	Criterio 3	Criterio 4	
	Costo de Inversión	Eficiencia	Flexibilidad	Mantenimiento	
Peso	4	5	4	3	16
Porcentaje	25%	31%	25%	19%	100%
Opciones	Calificación				Total
PLC	7	9	8	8	8.06
DCS	6	4	6	8	5.76

PAC	7	8	7	8	7.5
------------	---	---	---	---	-----

De acuerdo con las valoraciones dadas en la tabla 2.2, el sistema de automatización escogido para las válvulas electromecánicas será el Programmable Logic Controller o por sus siglas en inglés se lo conoce, PLC. Esto es debido a que el costo de mantenimiento entre todos los controladores no varía, se puede notar una diferencia de flexibilidad en adaptarse a los cambios de producción con mayor rendimiento al PLC y además requiere de un único controlador para todas las válvulas a diferencia de otros controladores, lo que le otorga una mayor eficiencia así sea mínima.

La tabla 2.3 de la matriz de decisión corresponde a los diferentes tipos de válvulas electromecánicas que se pueden implementar en el rediseño del proyecto, entre las alternativas de solución se puede encontrar una válvula de 2 vías de bolas, la válvula de 3 vías en forma de T, y la válvula de bolas común que se pueden encontrar en casi cualquier planta.

Tabla 2.3 Matriz de decisión de válvulas electromecánicas. [Elaboración Propia]

	Criterio 1	Criterio 2	Criterio 3	Criterio 4	
	Costo de Inversión	Eficiencia	Flexibilidad	Mantenimiento	
Peso	4	5	4	3	16
Porcentaje	25%	31%	25%	19%	100%
Opciones	Calificación				Total
Válvula de 2 vías	8	9	8	8	8.31
Válvula de 3 vías	7	7	6	7	6.75
Válvula de bolas	9	6	7	9	7.57

En base a los resultados obtenidos en la tabla 2.3, se escogió un sistema de válvulas de 2 vías de bolas, puesto que están elaboradas con bobinas lo que permite que puedan ser automatizadas, el costo de mantenimiento no es el más elevado entre las tres opciones debido a que no es una válvula tan compleja como la de 3 vías y tampoco es tan sencilla como la válvula de bolas común; además, gracias a su diseño permite adaptarse mejor a los cambios o ubicación geográfica dentro de la red de tuberías e incluso ayuda a que el fluido fluya de mejor forma a

través de las tuberías con una menor cantidad de interferencias que las demás (Almeida, 2021).

2.3 Diseño de forma

El diseño de red de aire comprimido es en forma de anillo de presión totalmente cerrado; esto hará que sea apto al momento de implementar nuevas líneas de producción. Además, las válvulas electromecánicas ya automatizadas mediante el controlador PLC, se encontrarán ubicadas en cada nodo de la red para que se automatice cada línea, junto con los ramales que alimentan a cada máquina; esto se hace con el objetivo de reducir las pérdidas de aire por fuga tanto a través de las tuberías como de los equipos. Finalmente, se espera que con esto se logre un ahorro energético y evitar la carga excesiva innecesaria que tienen los compresores por la emisión constante de aire comprimido. A continuación, se muestra el diseño de forma de la red de tuberías de aire comprimido que se obtendrá al final del proyecto.

Como se puede observar en la primera línea, el color turquesa corresponde a las tuberías añadidas que se utilizaron para cerrar totalmente el anillo de presión, las cuales se unen con la línea de secos, la siguiente fila corresponde a la línea de producción de panquelería, la cual cuenta con dos ramales que consumen aire comprimido, en la tercera línea se puede apreciar el segmento de tortillas la cual es una de las que mayor consumo de aire comprimido poseen, a continuación se refleja la producción de moldes, para luego dar paso a bollería que es la de mayor consumo dentro de la planta y finalmente se cierra la producción con la línea de apanadura, la cual se muestra al final; cabe recalcar que las tuberías de color celeste en el sector derecho de la figura 9 corresponde al cuarto de compresores.

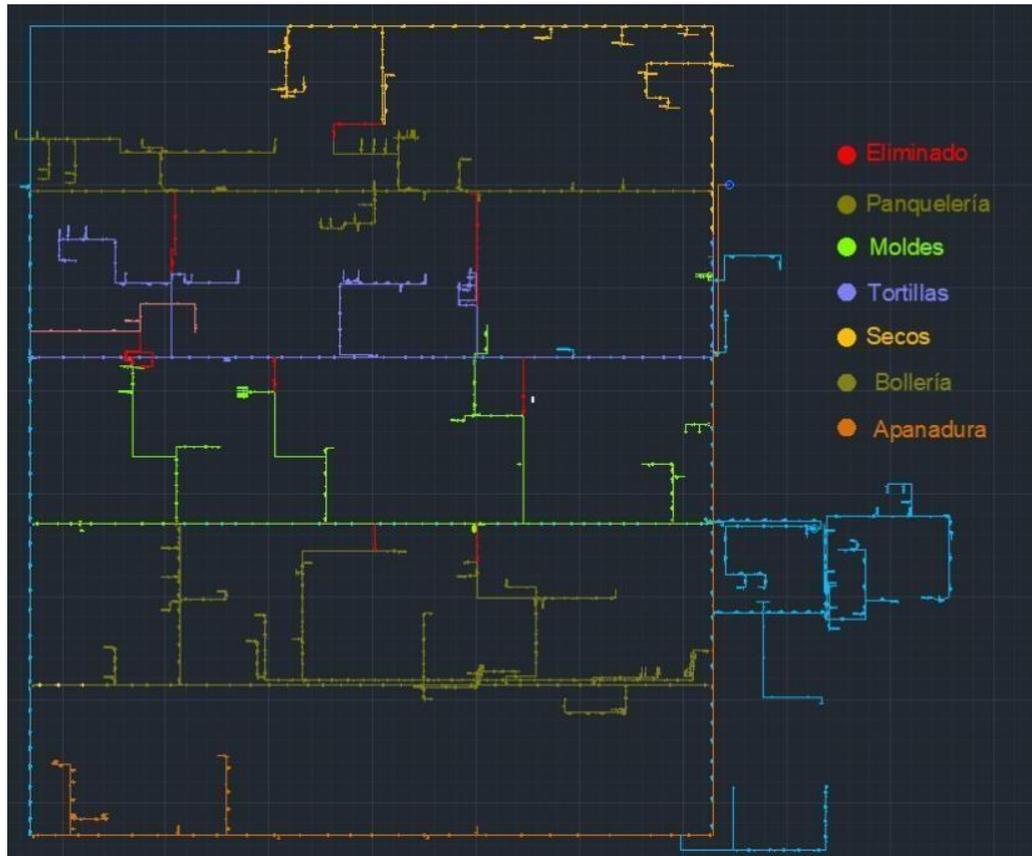


Figura 2.2 Sistema de red de aire comprimido. [Elaboración Propia]

2.4 Automatización de válvulas electromecánicas

Como se mencionó en la conclusión de la tabla 2.2. Se escogió un sistema de automatización a base de PLCs, esto es con el fin de adaptar la programación a una posible expansión de la planta. Además, los compresores que se encuentran en la planta son compatibles con este tipo de controladores; específicamente, Allen Bradley. Por ese motivo, se utilizó el lenguaje de programación Studio 5000 para realizar la programación del sistema de red de aire comprimido.

A continuación, se muestra un ejemplo de los diagramas de bloques usados para el funcionamiento del sistema, este formato de trabajo se escogió debido a la facilidad que otorga generalizar el sistema de encendido y apagado para todas las máquinas en caso de ser necesario, además permite mantener un control de mayor exactitud de las señales de entrada y salida, y finalmente al ser un sistema de automatización On y Off simplifica el hecho de no tener que realizar un código extenso a diferencia de que el diagrama permite mandar o no señales para la

apertura de las válvulas como si fuese un switch o pulsador; en este caso de ejemplificación, se refiere a la línea de apanadura de la planta.

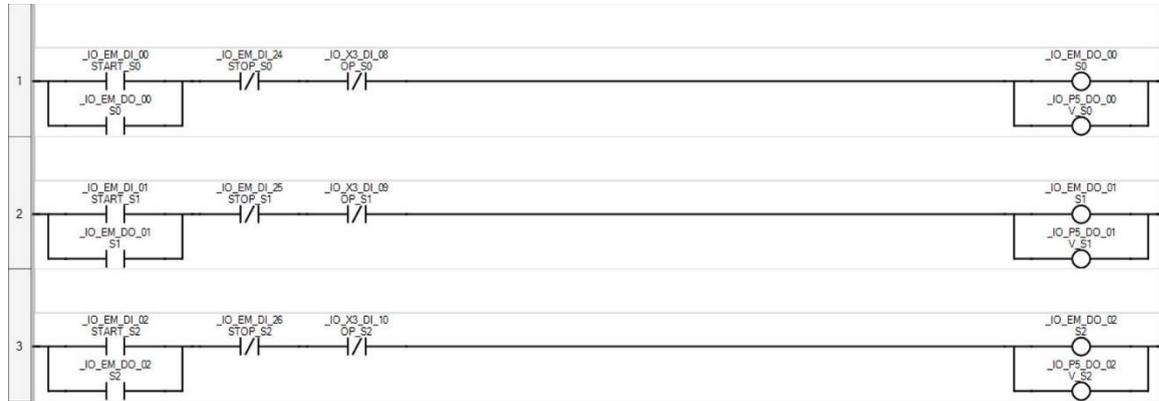


Figura 2.3 Diagrama de bloques de PLC para la línea de apanadura. [Rockwell Automation, 2021]

El funcionamiento del diagrama de bloques es el siguiente: cada variable corresponde a una de las máquinas; por ejemplo, la segunda línea controla que la máquina 1 de apanadura que, al momento de encenderse, se cierre el switch, para que luego la válvula se abra en su totalidad, permitiendo el paso de aire comprimido; la tercera línea controla la segunda máquina de apanadura, con el mismo principio que el equipo anterior.

Finalmente, la primera línea controla los nodos de los extremos de toda la tubería que abastece a la producción de apanaduras, con el principio de que, al estar apagados ambos equipos, dichas válvulas se cerrarán; sin embargo, mientras una de las máquinas de la línea de producción se encuentre encendida, las válvulas de los extremos seguirán permitiendo el paso de aire comprimido a través de la tubería.

Así sucesivamente, se realiza el mismo procedimiento para cada máquina y cada línea de producción hasta completar el ciclo de toda la planta. En total son 34 entradas digitales que se deben controlar, en base a la cantidad de máquinas, líneas de producción y el accionamiento manual de las mismas para poder realizar el mantenimiento de los equipos.

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Para la realización de este proyecto, se debe encontrar el consumo energético actual producido por el sistema de red de aire comprimido, gracias al histórico otorgado por los compresores de la planta en su tablero control, desde el mes de mayo a diciembre del 2021.

En la tabla 3.1 que se muestra a continuación se puede observar en la columna del medio el histórico mensual de carga de los compresores, en metros cúbicos; junto con el costo energético obtenido por la relación de consumo-precio en la tercera columna, información que fue brindada por la empresa.

Tabla 3.1 Resultados de consumo y costo energético de la compañía. [Elaboración Propia]

Mes	Carga [m ³]	Costo [\$/ <i>mes</i>]
Mayo	384543,28	\$3.034,25
Junio	384884,04	3.036,74
Julio	392472,80	3.096,61
Septiembre	400683,68	3.161,39
Octubre	445627,88	3.516,00
Noviembre	451256,76	3.560,42
Diciembre	253090,88	1.996,89
Promedio		3.057,44

En base a los datos, obtenidos en la tabla 3.1. se puede converger que el promedio de gastos energéticos producidos por la red de aire comprimido de la planta de alimentos es cercano a los \$3000. La tabla que se tabuló anteriormente se puede reflejar de mejor manera con el gráfico que se muestra a continuación, que representa los gastos de energía eléctrica mensual, en comparación a la carga en los compresores.

A continuación, la figura 11 refleja de forma gráfica la tabulación de la tabla 3.1 para que el lector pueda visualizar de mejor manera los datos obtenidos durante la

realización del proyecto. Y como se puede observar la época de menor consumo fue en diciembre por motivos de baja demanda de producción por las fiestas.

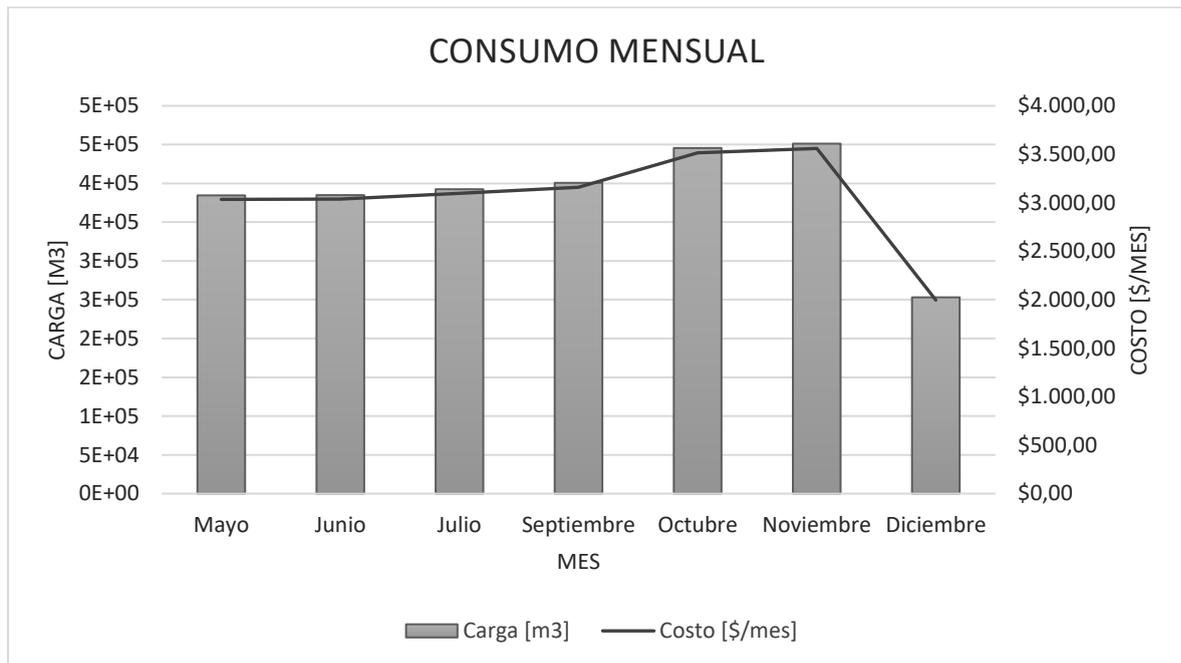


Figura 3.1 Gráfico de consumo vs costo [Elaboración Propia]

Luego, se trabajó realizando primero la simulación del sistema de red de aire comprimido en Pipe Flow Expert, basado en el diseño de forma escogido en la matriz de decisión de la tabla 2.1 ubicado en la sección 2.2 correspondiente a las matrices de decisión del proyecto; en la cual se estableció un sistema de anillo de presión totalmente cerrado.

La imagen que se muestra a continuación revela el sistema de aire comprimido, cada una de las filas representa una de las líneas de producción de la planta con sus respectivos puntos de presión, los cuales son la representación gráfica de los ramales que alimentan a los equipos; además se puede observar el ahorro expresado en metros cúbicos, correspondiente al volumen de carga de los compresores, luego de que se implementó el sistema de válvulas automatizadas; donde se puede apreciar que existe un ahorro considerable de 21,8 ft³/min; traducido en \$480/mes aproximadamente por cada línea de producción.

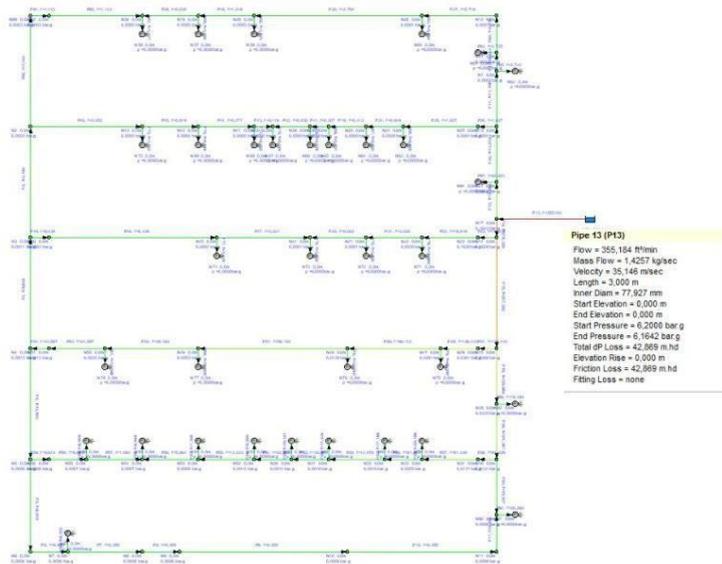


Figura 3.2 Simulación del sistema de aire comprimido en Pipe Flow Expert. [Pipe Flow Expert, 2022]

Ahora, se muestra el PLC representativo de la marca Allen Bradley, de modelo 2080-LC50-48QWB-SIM, que se obtuvo al final de realizar el diagrama de bloques para el funcionamiento del sistema de red de aire comprimido, donde se puede observar las entradas digitales o módulos enchufables en el sector izquierdo de la imagen, los cuales son de modelo 2080-IQ4 y 2080-OB4, más las adaptaciones de la interfaz de salida en la derecha de la imagen o mejor conocidos como módulos de adaptación, cuyo modelo escogido fue 2085-OB16, 2085-IQ32T y 2085-IQ16, los mencionados previamente se tuvieron que agregar puesto que el tope de entradas de un PLC común es de 27 puertos y se requirió la necesidad de utilizar 36 puertos de entrada debido a la cantidad de equipos, más los diagramas de accionamiento manual en caso de realizar un mantenimiento con equipos apagados.

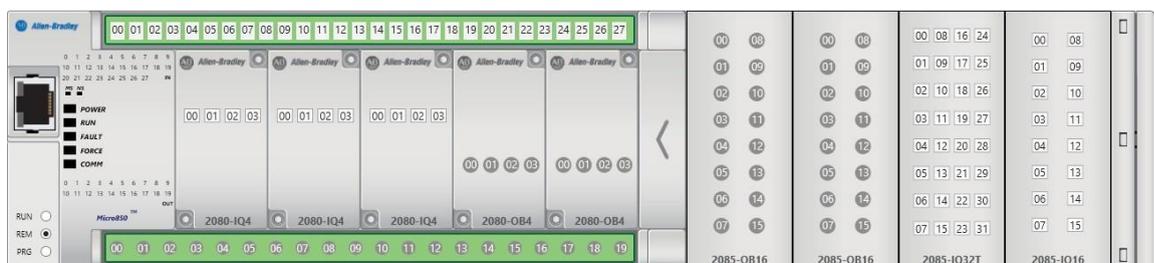


Figura 3.3 PLC representativo del proyecto [Rockwell Automation, 2021]

A continuación, en la tabla 3.2. Se muestra el costo de inversión obtenido, luego de analizar los materiales que se utilizarán para cerrar el sistema de tuberías entre los que se muestra también la soportería donde descansará la red, los costos de implementación del proyecto como el rubro de PLC acorde a los equipos que se manejan en la compañía que son de marca Allen Bradley, y finalmente, el costo de las válvulas electromecánicas de bola.

Tabla 3.2 Materiales e inversión del proyecto. [Elaboración Propia]

Material	Cantidad	Costo Unitario	Total
Válvula electromecánica	10	150	1500
PLC (Allen Bradley)	3	240	720
Tubería de acero ASTM 36 (6 mts)	9	120,12	1081,08
Codos	3	8	24
Acoples 3" - 3"	4	8	32
Cable de red [m]	189	0,45	85,05
Cable de cobre [m]	800	0,25	200
Estructura de soporte (Acero)	1	800	1400
Inversión Total			\$5.042,13

Como se puede observar en la tabla 3.2, el costo de inversión inicial para la implementación del sistema automatizado de red de aire comprimido fue de \$5042,13.

A continuación, en la tabla 3.3 se presentan los resultados obtenidos de ahorro, luego del modelado completo del proyecto, realizado en el software Pipe Flow Expert, donde se encontró un ahorro considerable de energía y carga de trabajo en los compresores. En la primera fila se puede observar un ahorro de 21,8 CFM cerrando el paso de aire comprimido a través de las tuberías que no requirieron ser utilizadas durante la producción semanal o que puede ser traducido en 416 horas en que ciertos equipos no se utilizaron para la elaboración de productos, y finalmente se evidenció un ahorro energético de \$120,25 por semana.

Tabla 3.3 Resultados del proyecto [Elaboración Propia]

Indicador	Valor
Ahorro de consumo de aire comprimido semanal	21,8 CFM
Reducción de horas de trabajo semanal	416 h
Ahorro económico semanal	\$120,25

Finalmente, para determinar la rentabilidad del proyecto, se obtuvo el flujo de caja con una proyección de 5 años luego de implementarse el nuevo sistema de aire comprimido; junto con el TIR y el VAN correspondiente a la implementación del proyecto. Lo mencionado anteriormente, se puede reflejar en la figura que se presenta a continuación; donde se pueden observar los ingresos operacionales; es decir, lo que se percibe en un periodo de tiempo determinado, el ahorro energético anual que produjo la optimización del sistema de aire comprimido; por otro lado, se refleja que no se percibió algún ingreso no operacional o esporádico por la implementación del sistema; además, en las últimas filas se muestra la inversión que requirió el proyecto junto con el flujo de caja a través de los años; y finalmente, en las dos últimas filas se observa el valor obtenido del TIR y el VAN.

Tabla 3.4 Flujo de caja, TIR y VAN del proyecto. [Elaboración Propia]

FLUJO DE CAJA							
		Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Total
Saldo inicial		-\$5.042,13	\$717,87	\$6.477,87	\$12.237,87	\$17.997,87	
Ingresos Operacionales							
Ahorro energético anual		\$5.760,00	\$5.760,00	\$5.760,00	\$5.760,00	\$5.760,00	\$5.760,00
Total de Ingresos Operacionales		5760	5760	5760	5760	5760	\$5.760,00
Ingresos No Operacionales							
		0	0	0	0	0	0
Total de Ingresos No Operacionales		0	0	0	0	0	0
DTotal de Ingresos		\$5.760,00	\$5.760,00	\$5.760,00	\$5.760,00	\$5.760,00	\$5.760,00
DTotal Egresos		\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00
Inversión Inicial	\$5.042,13						
Flujo de caja económico	-5.042,13	\$717,87	\$6.477,87	\$12.237,87	\$17.997,87	\$23.757,87	
VAN	\$34.392,44						
TIR	104%						

Como se muestra en la figura 14, existe un ahorro de energético de \$5760 al año, junto con el resultado del cálculo de VAN que se obtuvo un valor mayor a cero, además el TIR obtenido posee un porcentaje de 104% con lo que se puede deducir que el proyecto es rentable y otorga beneficios luego del primer año de su ejecución. Se debe recalcar que el costo de mantenimiento del sistema, se terceriza dentro de la compañía al área de mantenimiento; por ende, no sería un rubro a considerar dentro del proyecto.

3.1 Análisis de resultados

Se utilizó el software Pipe Flow Expert para simular el flujo dentro de la red de aire comprimido rediseñada, como se puede observar en la figura 12 ubicada en resultados. Todos los puntos de consumo fueron colocados como puntos de demanda de presión, y la red mantiene una geometría de anillo.

El objetivo principal del rediseño fue incrementar la eficiencia del sistema, y para esto nuestro enfoque estuvo en la geometría de la red y la independencia de consumo según la línea de producción que se encontraba activa, para así disminuir el volumen entregado por los compresores, esto se comprueba con la simulación y se adapta a los datos de la empresa para así verificar el ahorro que justifica el proyecto.

En la tabla 3.3 de la sección de resultados, de acuerdo con la simulación que se realizó, existe un ahorro de 21,8 CFM por cada línea de producción con el sistema por implementar se ahorrará el volumen de aire comprimido en función del tiempo en que la línea estuvo inactiva. A manera de muestra, se tomó la semana 51 de producción y el total de horas inactivas que tuvo la línea de bollería fue de 36 horas con estos datos comprobamos un volumen de 1039.8 metros cúbicos ahorrado.

Para el esquema utilizado en el software Pipe Flow Expert, se simuló la red desde el tanque de acumulación que se encuentra en la sala de compresores, y se analizó principalmente la tubería que conecta este con la red ya que aquí se encuentra el flujo en el que se basa el análisis. Los datos resultantes para el análisis de este

proyecto provienen tanto del software mencionado como de los datos internos de la empresa.

Del simulador se obtuvo el flujo idealizado sin pérdidas por fugas, y el estimado de ahorro en volumen por línea de producción; por otro lado, de la empresa se obtuvo la relación de costo energético en función del volumen, además de los consumos tanto diarios como semanales del sistema, además de los horarios de producción de la semana 51 y 52.

El análisis se basó en comparar los datos de la simulación con los del consumo, y relacionarlos con los horarios de producción para así estimar el volumen de aire que se ahorraría cada vez que una línea de producción no estuviese activa y el sistema de válvulas funcional, se encargue de cerrar el ramal inactivo.

Como se puede observar en la tabla 3.2. uno de los rubros corresponde a las válvulas electromecánicas, estas son de tipo de bola, los PLC que se colocaron son debido a que faltaron puntos de entrada analógica, para todas las válvulas que se utilizaron en el proyecto. Además, se puede observar que se colocaron cables de red y de cobre correspondientes a la instalación eléctrica. Finalmente, el costo de inversión calculado, para la ejecución del proyecto fue de \$5042,13, el cual no representa un valor tan considerable para la magnitud de la empresa en la que se quiere implementar; sin embargo, para una mediana compañía fuese un valor significativo.

Luego, en la figura 14 se puede observar el flujo de caja una vez finalizado el proyecto, donde se ve representado el saldo anual desde el arranque del proyecto hasta el año 5, con el flujo de caja se realizó una proyección anual, considerando como ingreso operacional, el ahorro energético anual que se calculó mediante la comparación entre los valores arrojados por el software Pipe Flow Expert y el compresor de la planta, donde se estableció un ahorro de trabajo semanal entre todas las líneas de producción de 416 horas, que se convirtió en una disminución aproximada de \$5760 anuales en gastos de energía eléctrica.

Finalmente, se comprobó la rentabilidad del proyecto, por eso se calculó el TIR y el VAN. El VAN se lo conoce como el Valor Actual Neto e indica si un proyecto genera beneficios dentro de un tiempo determinado; por lo que en la figura 14 se puede reflejar que el valor calculado de VAN es mayor a cero; por lo tanto, existe un beneficio dentro de un plazo determinado de 5 años luego de la ejecución de este proyecto. Además, el TIR se lo conoce como la Tasa Interna de Retorno; este valor como se refleja en la figura 14, fue mayor a K por lo cual se considera que el proyecto es viable en todo sentido puesto que la tasa de rendimiento interno es mayor en un 104% a la tasa mínima que exigió la inversión inicial.

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En un mundo que se encuentra en constante cambio al fin hemos aterrizado en una corriente de pensamiento verde, una tendencia ecológica que beneficia al planeta, como parte de esta tendencia las industrias, tecnologías y metodologías se adaptan. Esto es justamente lo que se ha logrado con este proyecto, adaptarse.

El objeto del rediseño de la red de aire comprimido fue incrementar su eficiencia, es decir que cumpla con la demanda consumiendo la menor cantidad de energía posible. Según los resultados obtenidos se ha logrado justamente esto, la optimización del sistema.

El ahorro energético se ve en el bloqueo de flujo a las líneas inactivas de producción los 120 dólares estadounidenses que obtenemos de ahorro final representan el ahorro por volumen de aire no consumido en este caso semanalmente. Este valor puede variar debido a eventualidades o cambios en la programación de producción, pero el sistema está diseñado para adaptarse a esto y aunque aumente la demanda la red estará funcionando de la manera más eficiente que puede.

Este proyecto está programado para implementarse en el 2022 y tiene lugar a mejoras dentro del área de programación ya que actualmente corta el volumen completo de la tubería que alimenta una línea de producción, pero a futuro podría seccionar por máquina dependiendo del proceso que esta realice o lo indispensable que el aire comprimido sea en su funcionamiento en caso de que se necesite activar para algún mantenimiento.

Existen soluciones para los sistemas ineficientes como es lo que ya se ha implementado en la planta en cuestión que es un sistema de compresores que regulen su funcionamiento a partir de la demanda de las máquinas la diferencia entre esta opción y nuestra propuesta es que no están en el mismo nivel, es decir, el sistema de válvulas automatizadas que hemos diseñado es el paso a seguir luego

de la implementación de este tipo de compresores aunque no son indispensables para utilizar nuestro diseño.

La relevancia de implementar este tipo de proyectos es empujar la ingeniería hacia un desarrollo sustentable y eficiente que beneficie al país, la empresa y todos los sectores relacionados con el consumo responsable de energía.

4.1 Conclusiones

Al culminar el proyecto, se obtuvieron las siguientes conclusiones en base a los objetivos planteados al inicio de este:

- Se rediseñó el sistema de aire comprimido de la planta alimenticia, al cerrar totalmente la tubería en un sistema de anillo de presión compacto, incrementando circunstancialmente su eficiencia al producir la misma presión de trabajo en cada punto de la red; asimismo se implementó un sistema de válvulas electromecánicas para abastecer a las líneas de producción con la cantidad necesaria de aire comprimido y no provocar una carga injustificada en los compresores.
- Se modeló el sistema de aire comprimido de la empresa mediante el uso del software AutoCAD, con el cual se determinó la cantidad y ubicación exacta de los equipos que necesitan aire comprimido para su funcionamiento.
- Se realizó el código de las válvulas electromecánicas, utilizando la herramienta Rockwell Automation, con la cual se estableció el ritmo de trabajo de los equipos de la planta y aplicando un sistema de On y Off, se optimizó el trabajo de los compresores durante la jornada laboral.
- Se calculó la carga de aire comprimido de los equipos por cada línea de producción gracias al uso del software Pipe Flow Expert, con el cual se estableció la demanda de aire comprimido acorde al ritmo de trabajo de la planta al colocar los puntos de presión en la ubicación real en la que se encuentra en la empresa.

4.2 Recomendaciones

Luego de la finalización del proyecto, se encontraron ciertas observaciones que pueden ser consideradas a futuro, con la finalidad de que se obtenga un funcionamiento de la red más eficiente aun, entre las cuales se puede mencionar:

- Colocar en el código de funcionamiento de las válvulas electromecánicas, un diagrama que represente la activación de ciertos sectores de la tubería en caso de necesitar mantenimiento en equipos específicos y así optimizar aún más el uso de aire comprimido
- Instalar en los extremos de la tubería que da a la línea de secos y apanadura, una válvula electromecánica de 3 vías, puesto que sellará el paso desde la raíz de las líneas de panquelería y bollería respectivamente para que exista menor desperdicio de aire comprimido en esos tramos de tubería, incrementando la eficiencia del sistema.
- Elaborar una app compatible con la programación de las válvulas y que posea acceso remoto, para que en caso de una emergencia o encontrarse fuera del sitio pueda activar o desactivar las válvulas a conveniencia dependiendo de la demanda de producción, así como también la realización de mantenimiento de un equipo y simplemente enviar la orden de cerrar todas las válvulas o ciertas líneas de producción en caso de una emergencia, dicha app debe ser operada por un jefe de mantenimiento o supervisor de producción, el cual debe recibir la capacitación adecuada para el correcto uso de la misma.
- Capacitar a operadores de la planta alimenticia, con la finalidad que todos los miembros del equipo de trabajo sean capaces de actuar en beneficio de la compañía o administrar correctamente los tiempos de trabajo de las líneas de producción, en caso de que alguno de los jefes o personal responsable no se encuentre presente.

BIBLIOGRAFÍA

Almeida, R. (2021). Entrevista de selección de válvulas. (H. Chalén, Entrevistador)

ASME B31.8. (1999). Sistema de tubería para transporte y distribución de gas.

Automática e Instrumentación. (2019). AEI 515 - Presente y Tendencias de futuro de los sistemas de control distribuidos (DCS). Automática e Instrumentación, 46 - 52.

Compressed Air & Gas Institute. (2021). Compressed air system design. CAGI.

Cortez, E., & Landázuri, D. (2011). Implementación del sistema de control y optimización de la marcación de placas de fibrocemento en la línea de conformado de la planta ETERNIT ECUATORIANA. Quito.

Genera Creative Group. (2020). Autycom. Obtenido de <https://www.autycom.com/ques-un-actuador/>

Greene, R., Abraham, R., & Nerken, R. (1984). The chemical engineering guide to compressors.

Logic Electronics. (2020). [logicelectronics.net](http://www.logicelectronics.net). Obtenido de http://www.logicelectronics.net/PRODUCTOS_BECKHOFF_QueEsPac.html

Maxon, H. (2011). Válvulas electromecánicas para gas.

Orozco, P. (Septiembre de 2021). BIMBO SUPAN. (H. Chalén, Entrevistador)

PNUD. (2018). Objetivo 12: Producción y consumo responsable.

Ramírez, C. (Abril de 2021). Mantenimiento Industrial. (J. Pólit, Entrevistador)

Refacalderas. (2020). Componentes de las electroválvulas y su funcionamiento.

Refacalderas .

Revista de robos. (2021). Automatización industrial. ¿Qué es la automatización y cómo funciona? Revista de robos.

Sánchez, J. I. (2020). Iberdrola. Obtenido de <https://www.iberdrola.com/innovacion/machine-learning-aprendizaje-automatico>

Scheu, M. (2021). ¿Qué es un PLC? ¿Cómo funciona? ¿Para qué sirve? Bilbao.

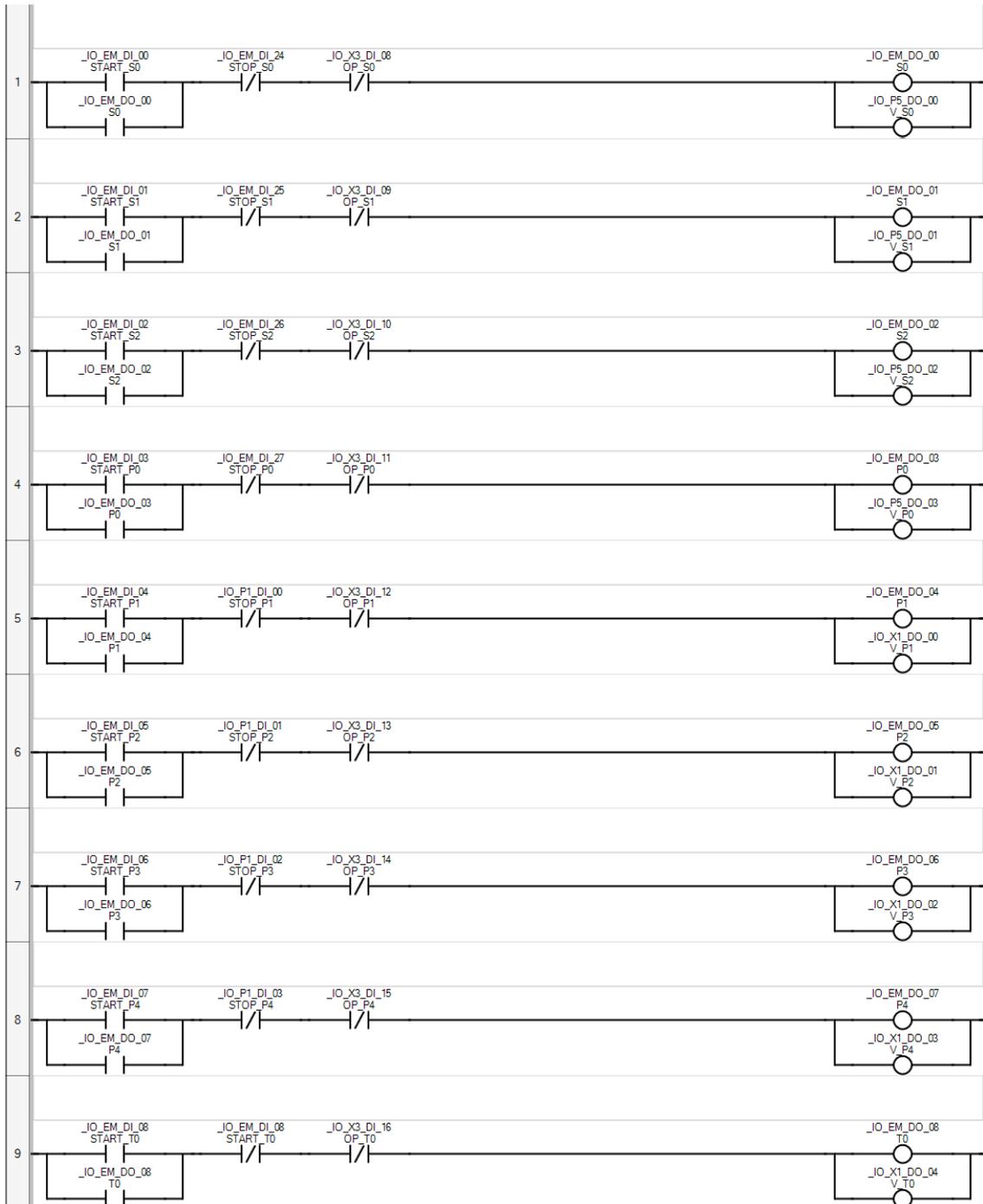
Solé, A. C. (2007). Neumática e Hidráulica. España: Marcombo S.A.

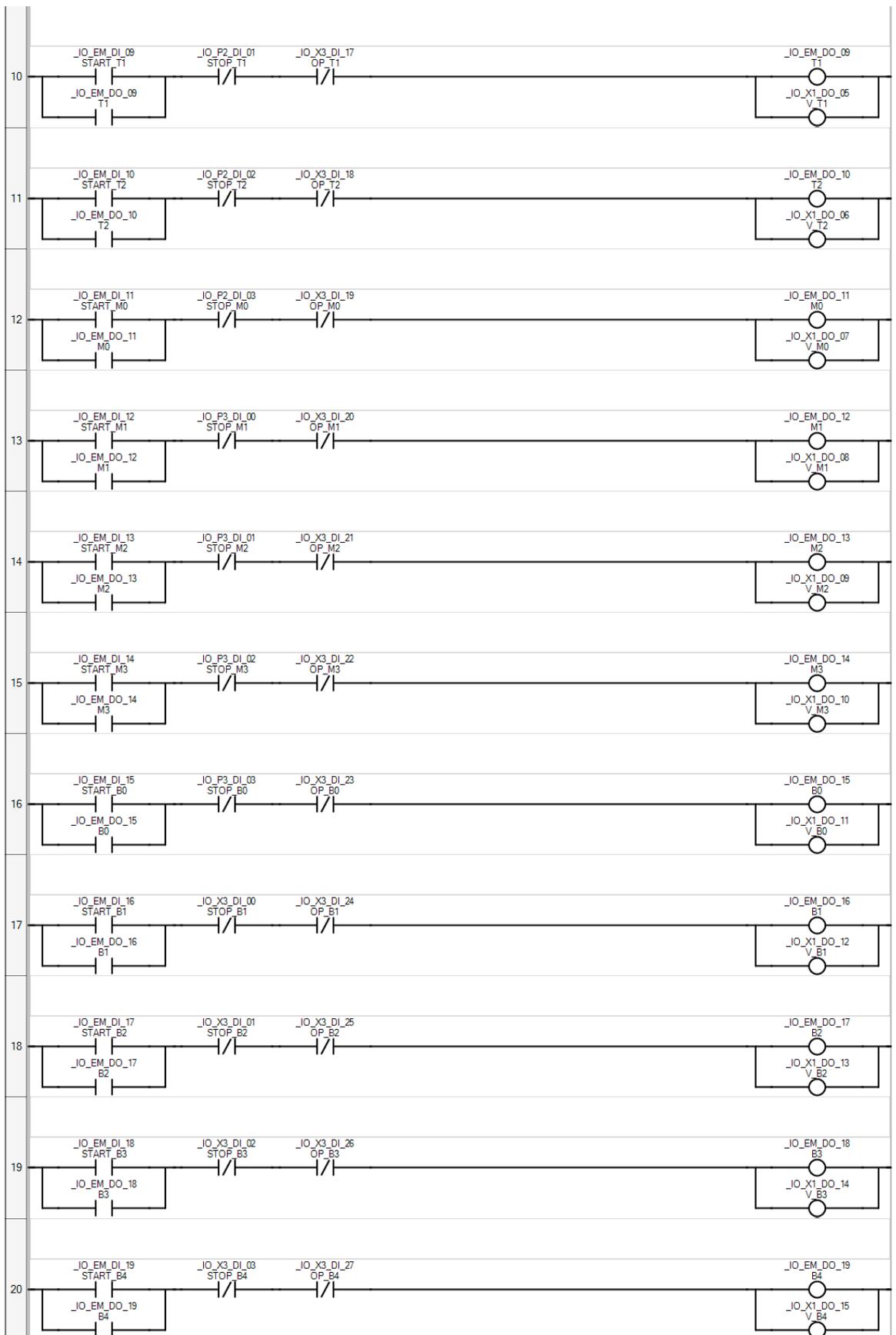
APÉNDICES

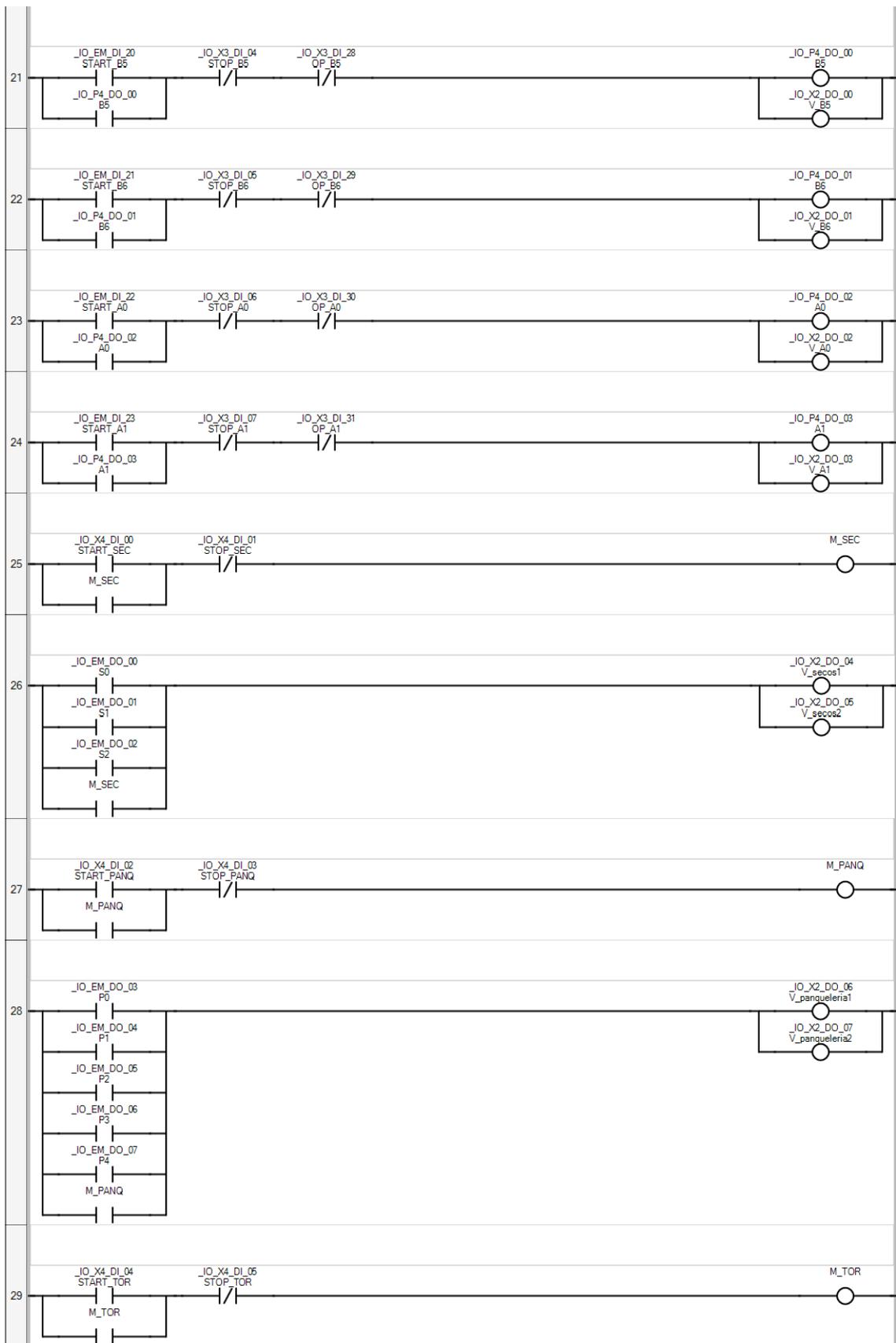
APÉNDICE A

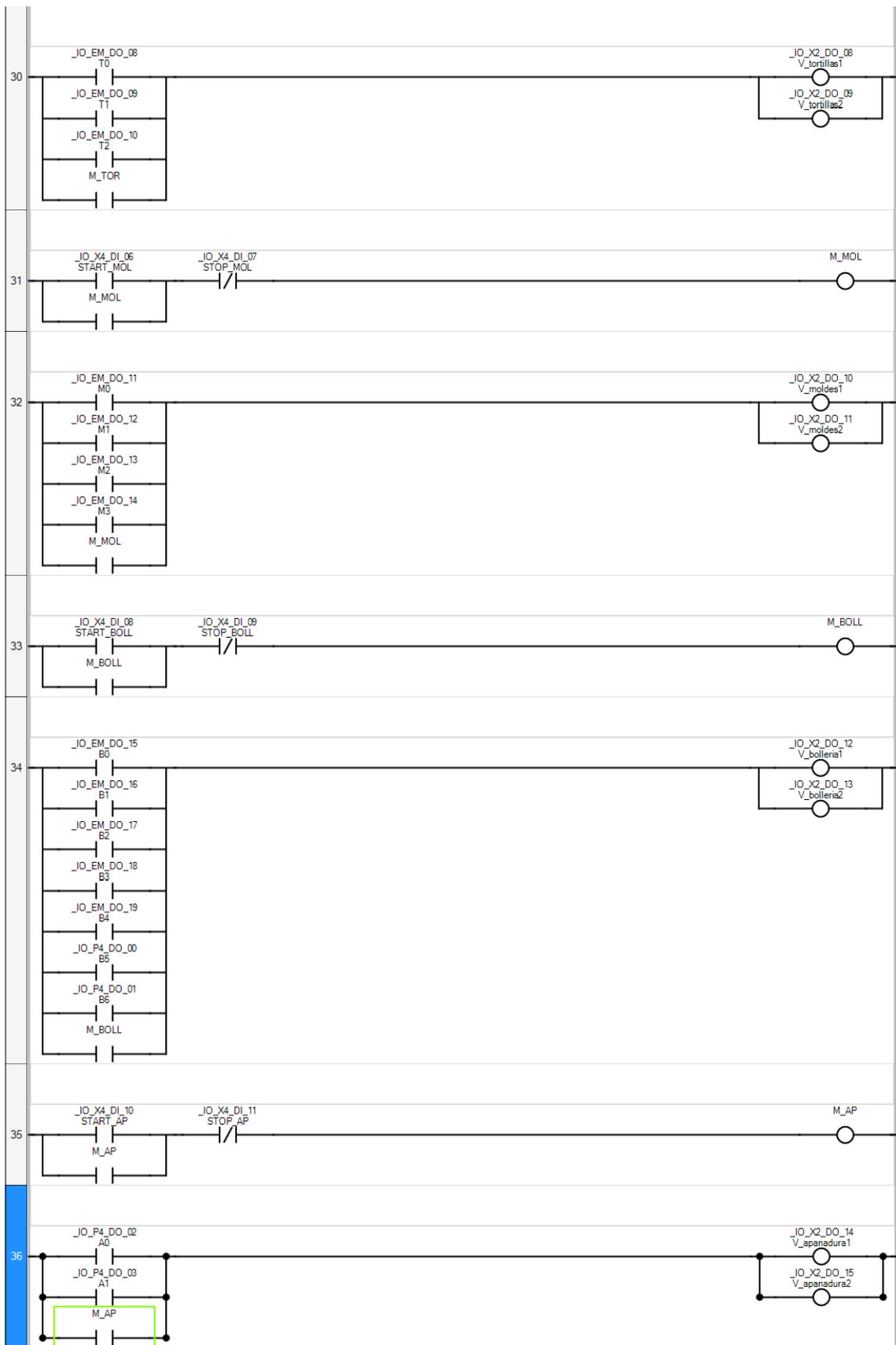
Código de programación de PLC

A continuación, se muestra el código completo de la sección 2.5 del marco teórico, elaborado con el software de programación compatible con equipos Allen Bradley, Rockwell Automation de Studio 5000.









APÉNDICE B

Cálculos del proyecto

En la siguiente simulación tenemos la geometría rediseñada con dimensiones reales y trabaja bajo las siguientes asunciones:

- No se consideran pérdidas por fricción.
- No se consideran pérdidas por accesorios.
- Flujo se mantiene a la presión nominal del sistema seteado desde la sala de compresores.

Los periodos de lecturas que muestra el tablero Sigma air Manager de Kaeser son de 24 horas en las que se mantiene un flujo volumétrico promedio de **436 CFM** (valor real).

Pipe 13 (P13)

Flow = 355,184 ft³/min
Mass Flow = 1,4257 kg/sec
Velocity = 35,146 m/sec
Length = 3,000 m
Inner Diam = 77,927 mm
Start Elevation = 0,000 m
End Elevation = 0,000 m
Start Pressure = 6,2000 bar.g
End Pressure = 6,1642 bar.g
Total dP Loss = 42,869 m.hd
Elevation Rise = 0,000 m
Friction Loss = 42,869 m.hd
Fitting Loss = none

Figura A.1 Demanda sin corte de flujo.

Pipe 13 (P13)

Flow = 338,783 ft³/min
Mass Flow = 1,3598 kg/sec
Velocity = 33,523 m/sec
Length = 3,000 m
Inner Diam = 77,927 mm
Start Elevation = 0,000 m
End Elevation = 0,000 m
Start Pressure = 6,2000 bar.g
End Pressure = 6,1674 bar.g
Total dP Loss = 39,038 m.hd
Elevation Rise = 0,000 m
Friction Loss = 39,038 m.hd
Fitting Loss = none

Figura A.2 Demanda con un ramal deshabilitado.

Teniendo en cuenta los datos de las ilustraciones 13 y 14 se utiliza la variación de la demanda para aproximar la variación real.

Simulación

Demanda con la red completa: 355,2 CFM

Demanda con una línea inactiva: 338,8 CFM

Valores del sistema

Kaesar Demanda total:

436 CFM

En la simulación el bloqueo del flujo por la línea inactiva representa el 5% de la demanda a manera de ahorro. Traducido a valores reales entonces:

$$436 \text{ CFM} \times 0,05 = 21,8 \text{ CFM}$$

Se obtiene 21,8 CFM por línea inactiva.

De la información proporcionada por la empresa tenemos que por cada 1000 metros cúbicos se gasta 7,8 USD. Además, también se nos proporcionó los horarios de producción de dos semanas a manera de muestra para el cálculo, de lo que obtenemos un promedio de 416 horas de inactividad entre todas las líneas dando un ahorro semanal de:

$$\frac{21,8}{ft^3} \frac{min}{min} \times \frac{1,7}{min} \times 416 \text{ h} \times 0,0078 \frac{USD}{m^3} = 120.25 \text{ USD}$$

En una muestra de una semana se ahorrarían aproximadamente 120.25 dólares estadounidenses.

A continuación se presenta la red simulada con todos sus puntos de consumo. De esta es la simulación que se obtuvieron los resultados necesarios para la realización de este proyecto.

APÉNDICE C

Modelado en software Pipe Flow Expert

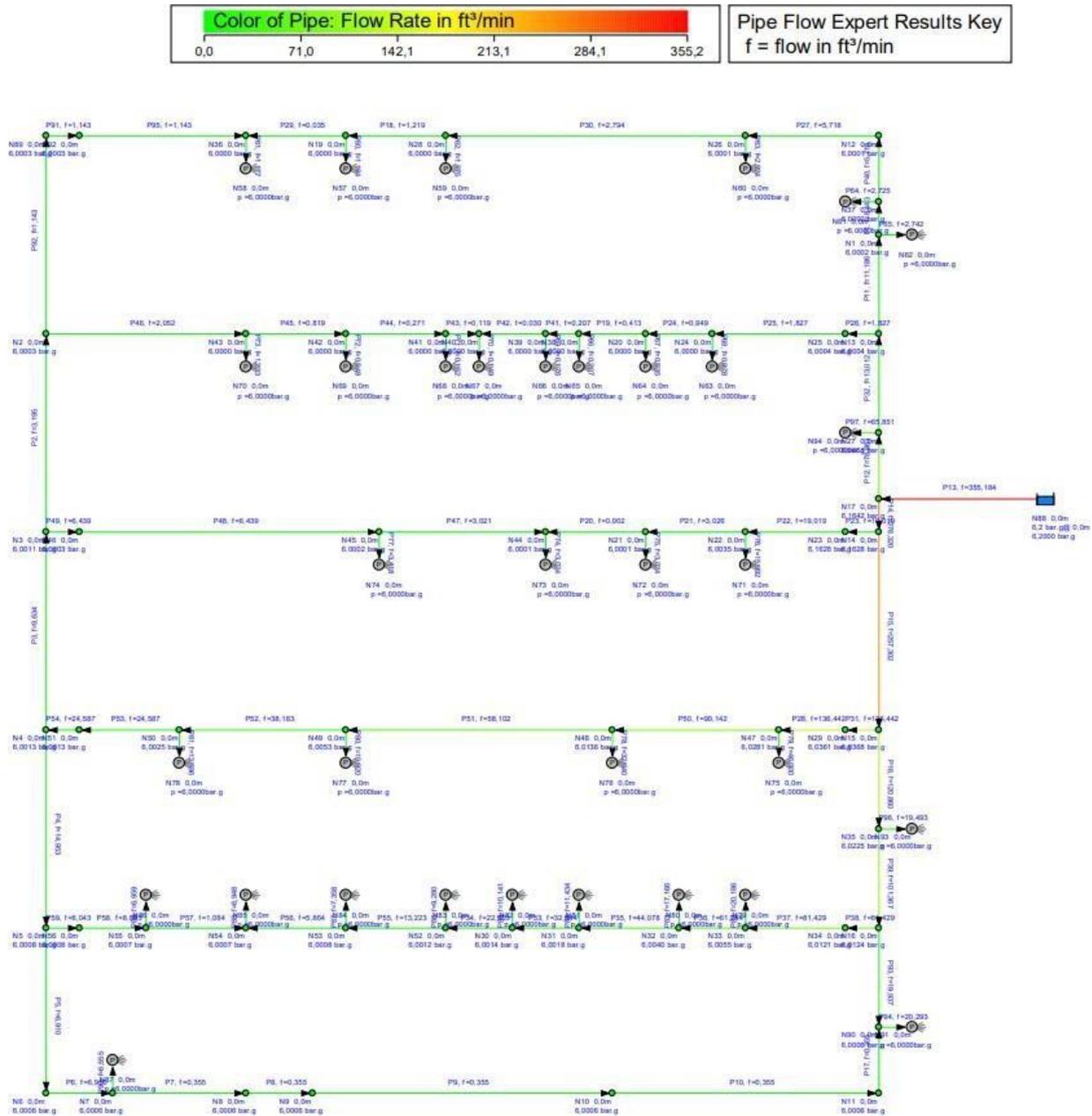


Figura A.3 Modelado aumentado del diseño de tuberías [Pipe Flow Expert, 2022]